



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PLASTOVÉ ZÁKLADNY ČASOVAČE

DESIGN OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR PLASTIC BASE TIMER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VÍT BŘEZINA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Vít Březina

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh technologie výroby plastové základny časovače

v anglickém jazyce:

Design of manufacturing technology for plastic base timer

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru plastového dílce vypracovat řešerši na technologii vstřikování plastů do forem, provést návrh technologického postupu a konstrukce vstřikovací formy s podporou počítačové analýzy včetně potřebných výpočtů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je komplexní návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na plastovou základnu časovače podložený simulační analýzou plnění tvarové dutiny (zobrazení rozložení tlakových úbytků a teplot) a doplněný technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam odborné literatury:

- ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha: Nakladatelství BEN, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- MENGES, Georg and Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 2nd ed. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumil Kandus

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 19.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bc. BŘEZINA Vít: Návrh technologie výroby plastové základny časovače

Diplomová práce řeší návrh technologie výroby plastového dílce. V první části se zabývá studiem teoretických vlastností plastů a jejich zpracováním použitelných pro zadaný problém. V druhé části je navržena dvojnásobná vstřikovací forma s horkým vtokem. Následuje ověření funkce řešení pomocí analýzy vstřikování a práci uzavírá technickoekonomické zhodnocení celého projektu.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, analýza vstřikování, horký vtok, vstřikovací lis, HASCO katalog

ABSTRAKT

Bc. BŘEZINA Vít: Návrh technologie výroby plastové základny časovače

This master's thesis addresses the design of technology manufacturing plastic parts. The first part deals with the study of theoretical properties of plastics and processing applicable to a given problem. In the second part is designed double injection mold with hot runners. The following authentication function by analyzing the injection solution and the work concludes technical and economic assessment of the project.

Keywords: injection molding, injection mold, injection analysis, hot runners, injection molding machine, HASCO catalog

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BŘEZINA, Vít. *Návrh technologie výroby plastové základny časovače*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 57 s., CD, 5 výkresů, 3 přílohy. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohumil Kandus.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 10.5.2014

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále děkuji panu Ing. Janu Klímovi za poskytnutí softwarové podpory ve firmě Forez s.r.o.

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD [9], [12], [23]	10
1 ROZBOR STAVU	11
2 PLASTY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ.....	12
2.1 Výroba polymerů [14], [15].....	12
2.2 Dělení polymerů [14], [11], [23]	14
2.3 Vlastnosti plastů [15], [18]	15
2.4 Technologie vstřikování plastů [2],[14],[23].....	17
2.5 Rozdělení lisů dle uspořádání a jejich volitelné parametry [11],[14].....	18
3 VSTŘIKOVACÍ FORMY [8],[11],[18],[23]	24
3.1 Rozdělení vstřikovacích forem [11],[23].....	25
3.2 Konstrukce forem [8], [11],[14]	25
3.2.1 Vtoky [4],[11].....	28
3.2.2 Temperační soustava [14],[17].....	30
3.2.3 Odvzdušňovací systém.....	31
3.2.4 Vyhazovací systém.....	32
4 NÁVRH FORMY [8],[11],[18]	33
4.1 Výpočet konstrukčně technologických parametrů [8],[11],[18]	34
4.2 Návrh konstrukčního uspořádání formy	40
4.2.1 Volba materiálů částí formy [18],[21].....	41
4.2.2 Volba horké trysky [11], [20].....	42
4.2.3 Návrh temperačních kanálků [10],[18]	43
4.2.4 Návrh vyhazovacího systému.....	45
4.2.5 Návrh šikmého vedení bočních jader	46
4.2.6 Konstrukční prvky formy	47
5 ANALÝZA TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	48
6 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [6],[11],[20],[21][22]	54
7 ZÁVĚRY.....	57

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

SEZNAM OBRÁZKŮ

SEZNAM TABULEK

SEZNAM VÝKRESŮ

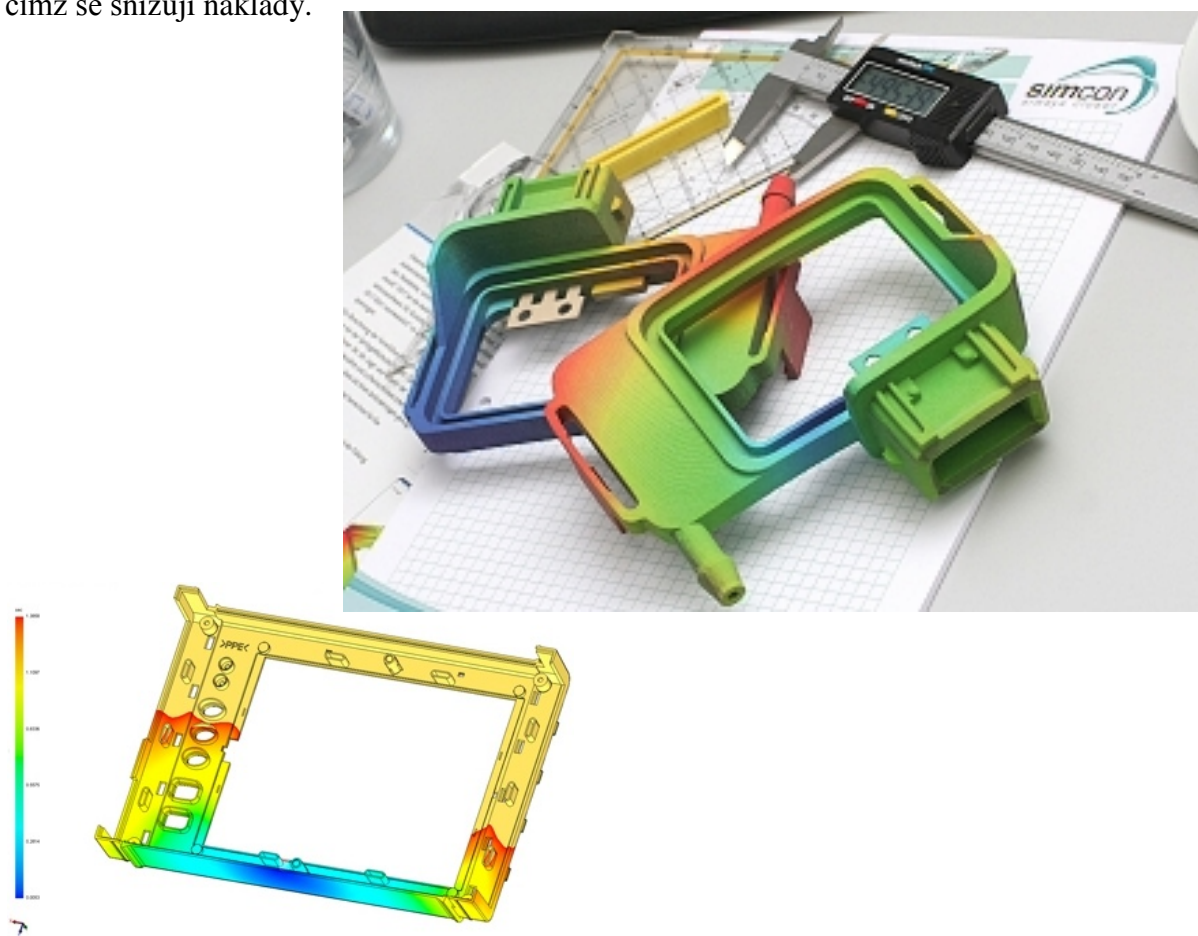
SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHY

ÚVOD [9], [12], [23]

Dravý průmysl jednadvacátého století představuje velmi konkurenční prostředí, na kterém lze uspět pouze se sofistikovaně řešenými součástkami, jejichž výroba musí být efektivní jak po stránce ekonomické, tak i z hlediska produktivity. Jedním z řešení je využití polymerů, které lze dnes v široké míře využít v automobilovém, elektrotechnickém, leteckém průmyslu a jiných odvětvích výroby. Od prvního komerčního zpracování polymeru vstřikováním v roce 1921 pány A. Eichengrünem a H. Bucholtzem se tato technologie držela na špici průmyslové výroby a začala nahrazovat tradiční kovové materiály a dřevo. Nepopiratelnou výhodou termoplastů je několikanásobná recyklace již vyřazených dílů, čímž dochází k ochraně životního prostředí. Tohoto úspěchu bylo dosaženo zvyšováním mechanických vlastností, zlepšováním fyzikálních a chemických vlastností polymerů až do dnešní doby, kdy si lze ze široké škály materiálů vybrat například vysokopevnostní polymery aditivované skelnými vlákny, chemicky neutrální, elektricky nevodivé s odolností proti průrazu elektrickým proudem, či vysoce elastické polymery.

Aby bylo možné efektivně zpracovávat takovéto množství polymerů s rozdílným chováním při procesu vstřikování, byly na základě dlouholetých výzkumů vyvinuty matematické simulační programy, které mají za úkol odhalit anomálie v průběhu celého cyklu výroby. Jedná se zejména o nerovnoměrné plnění dutiny formy, nestejnoměrnou rychlost chladnutí výstřiku a pokles tlakových úbytků, s tím související vznik staženin a v neposlední řadě analyzujeme smrštění. Na základě těchto poznatků minimalizujeme čas na odladění formy, čímž se snižují náklady.



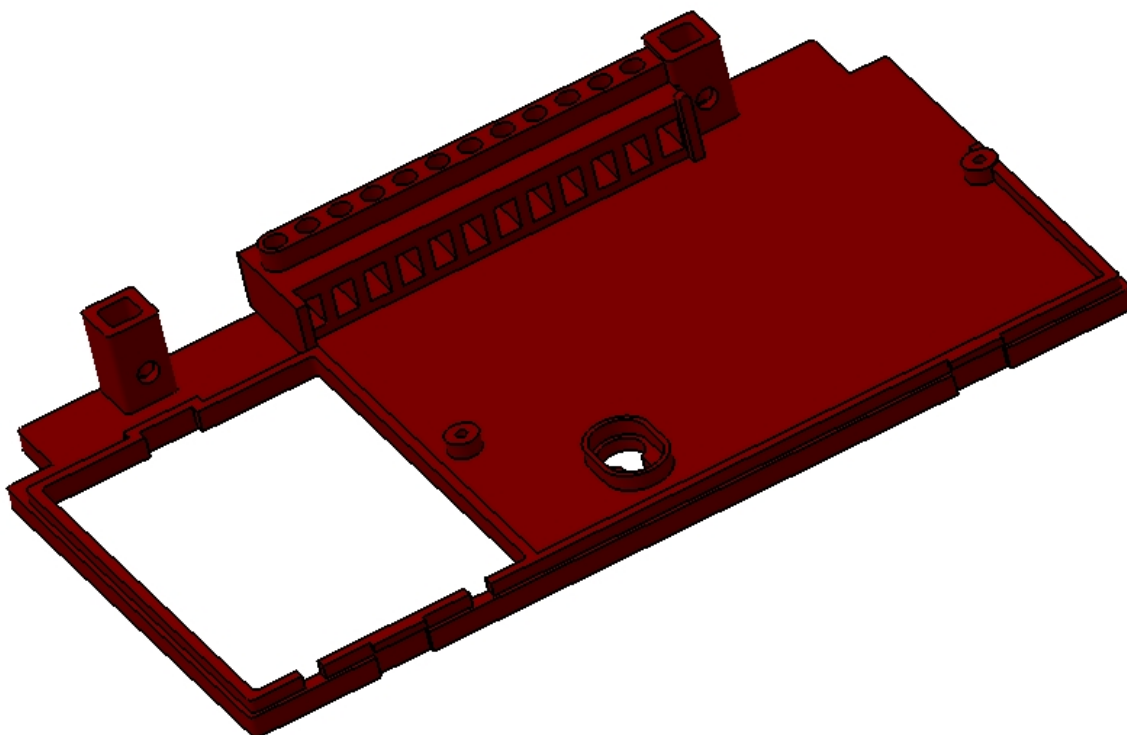
Obr. 1 Analýzy vstřikování [9], [12]

1 ROZBOR STAVU

V současné době obdrží obchodní oddělení nástrojárny od zákazníka 3D data poptávané součástky. Po nacenění zakázky a jejím uvedením do výroby se tato data dostávají ke konstruktérovi, který navrhne formu. Při její konstrukci a volbě materiálu, není-li už specifikován, vychází z funkce součástky v zástavbě.

V tomto konkrétním případě se jedná o základnu časovače elektroinstalace. Proto jsou na ni kladeny přísné bezpečnostní požadavky. V první řadě je zde požadavek na odolnost proti průrazu elektrickým proudem, který lze popsat měrnou rezistivitou materiálu. Níže uvedené řešení zaručuje hodnotu $10^{13} \Omega \cdot m$. Dalším parametrem je samoshášivost, kterou zaručí plnění materiálu 35% skelného vlákna. Stabilita a odolnost vůči teplotám je dimenzována na 240°C.

Po těchto úkonech následuje zhotovení a schválení výkresové dokumentace formy, která se tak dostane do výroby v nástrojárně. Po její montáži dochází ke zkušebnímu lisování. Při něm se využívá poznatků získaných mould analýzou, která simuluje tlakové a teplotní úbytky v dutině, plnění tvarové dutiny, temperační cyklus a také smrštění. Zjistí-li se nedostatky, následuje korekční demontáž a úprava formy. Správnost řešení se zkontroluje dalším zkušebním lisováním, po kterém následuje takzvané vzorkování. Při něm se kontrolují požadované rozměry. Je-li zákazník spokojen s výsledky, následuje již výrobní lisování na lise zákazníka či v lisovně nástrojárny. Tímto však úloha konstruktéra nekončí. V průběhu inovace, které jsme svědky v automobilovém průmyslu, nastávají drobné změny v průběhu výroby výstřiku. Proto se ke konstruktérovi dostávají formy, vyžadující korekci tvaru či funkčních částí formy.



Obr. 2 Základna časovače

2 PLASTY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

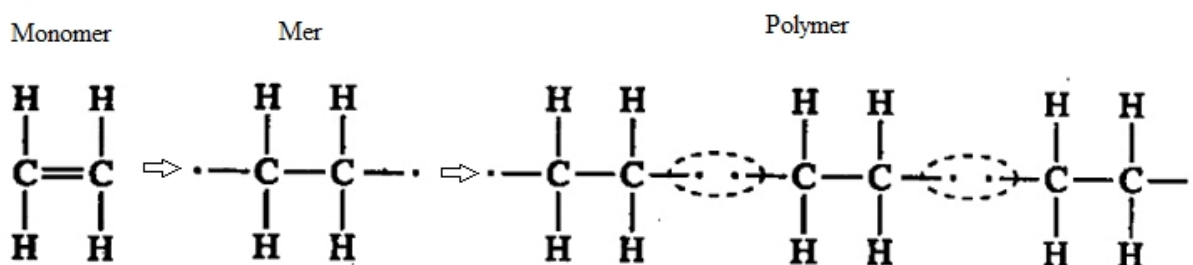
Plasty jsou organické materiály vyrobené z polymerů, které jsou složeny z dlouhých řetězců opakujících se monomerů.

2.1 Výroba polymerů [14], [15]

Polymer je tedy sloučenina sestávající se z molekul monomerů, které je třeba spojit do příslušných řetězců pomocí níže uvedených reakcí.

- **Polymerace** [15]

Při nejpoužívanější polyreakci dojde k zesítnění monomerů v rámci několika sekund. Ty jsou spojeny vazbami vlivem štěpení jejich dvojné vazby, viz. obr. 3, kdy vzniká takzvaný mer. Mery vytváří různě dlouhé řetězce. Tento typ reakce se vyskytuje u PE, PS, PP či PVC. V průběhu této reakce nevznikají vedlejší produkty, jak je tomu například u polykondenzace.



Obr. 3 Polymerace [15]

- **Polykondenzace**

Polykondenzace je odlišná od polymerizace tím, že při polymeraci vznikne polymer, který má totožné složení s původními monomery na rozdíl od polykondenzace, kdy vzniklý polymer je jiného složení, než původní monomery. Nevýhodou je vznik vedlejšího produktu, jako je například alkohol či voda, viz obr. 4. Tyto produkty vznikají v důsledku uvolnění molekuly při spojování relativních konců merů. Se vznikem vedlejších produktů souvisí delší čas této reakce oproti polymerizaci. Polykondenzací se vyrábí například polyamidy, polyesteru a většina reaktoplastů.

- **Polyadice**

Na rozdíl od polykondenzace nevznikají vedlejší produkty při spojování reaktivních konců rozdílných monomerů. Reakce je ale také pomalá. Využívá se například při výrobě epoxidové pryskyřice.



Obr. 4 Polykondenzace [14]

Při výrobě polymerů se nevyužívají pouze monomery, jenž tvoří základní materiál. Často jsou doplněny aditivy, které zlepšují jejich vlastnosti, neboť mezi hlavní nevýhody plastů patří jejich hořlavost, malá tvarová stálost za tepla, křehkost za nízkých teplot či vznik elektrostatického náboje na jejich povrchu.

- **Aditiva** [11], [23]

Plniva organického či neorganického původu zpravidla ovlivňují mechanické vlastnosti. Chceme-li vyztuzit základní polymer, přidáme plnivo ve formě malých částic nebo vláken, která zpravidla bývají uhlíková, skelná či kovová. Takzvaně nevyztuzující plnivo ve formě prášku rozemleté břidlice, křída či kaolín se používá z ekonomického hlediska, kdy je nižší cena materiálu vykoupena horšími mechanickými vlastnostmi. Fyzikální vlastnosti, jako je například menší součinitel tření, lze podpořit přidáním grafitu. Lepší tepelná vodivost se dosahuje přidáním kovových prášků.

Stabilizátory zpomalují stárnutí materiálu a degradaci jeho vlastností. Zpomalení degradace vlivem ultrafialového záření a povětrnostních vlivů se dosáhne přidáním sazí. Využívají se i tepelné stabilizátory uchovávající vlastnosti materiálu za zvýšených teplot. Rozlišujeme soli kyselin anorganických i organických (kationty Pb, Sr, Zn, Mg, Li, Na) a organické stabilizátory – např. epoxidy, deriváty močoviny...

Tvrdidla podporují vznik příčných vazeb, které jsou podmínkou pro vytvrzení pryskyřice. Přidávají se v přesném poměru s pryskyřicí a rychlost procesu ovlivňují iniciátory a urychlovače chemické reakce. Používají se organické peroxidy, GAMA -záření o vysoké energii (kobaltová bomba), urychlené elektrony.

Retardéry hoření se nazývají samoshásedla na bázi anorganických sloučenin Sb_2O_3 , boritan zinečnatý – jíly (kaolin, bentonit,...)

Antioxidanty jsou různé organické sloučeniny například vosky a parafíny. Zabraňují oxidaci za zvýšených teplot, kdy dochází k atakování zejména atomu uhlíku. Reakcí vznikají hydroperoxidové skupiny, které se snadno štěpí a zahajují tak řetězovou reakci vedoucí k degradaci materiálu.

Maziva rozdělujeme na :

S vnějším účinkem, které se nerozpouštějí v polymeru a vytváří na povrchu polymeru film podporující odlepení výrobku od povrchu formy a tím snadné vyhození výstřiku.

S vnitřním účinkem, které se rozpouštějí v polymeru a snižují vnitřní tření mezi granulemi, čímž ovlivňují celkovou viskozitu taveniny.

Změkčovadla zvyšují houževnatost materiálu na úkor mechanických vlastností. Například pro obtížně tvarovatelné PVC se změkčovadla používají zejména pro snížení T_G až o desítky $^{\circ}\text{C}$. Jsou to organické kapaliny, například estery kyseliny ftalové (ftaláty), adipové (adipáty).

Nadouvadla najdou uplatnění v lehčených plastech. Jedná se o přísady, které se při vstřikovací teplotě rozkládají na plyny N_2 či CO_2 , které ve směsi vytvoří póry.

2.2 Dělení polymerů [14], [11], [23]

Hlavním kritériem pro dělení polymerů je jejich chování za zvýšených teplot. Z tohoto hlediska se plasty dělí na:

- **Termoplasty**

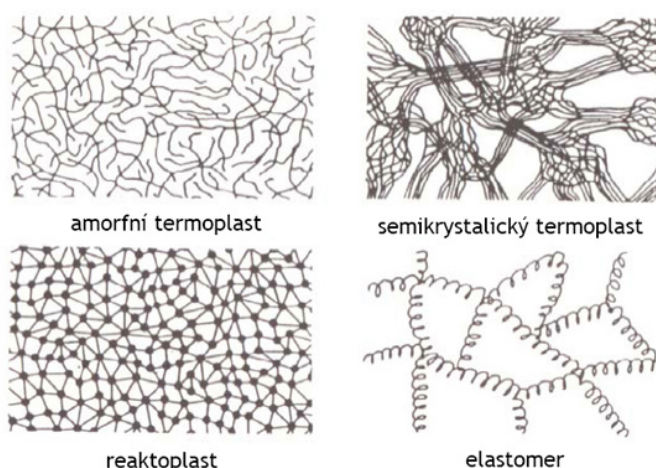
Mají strukturu uspořádanou amorfně a semikrystalicky. Vazby mezi makromolekulami jsou pouze fyzikální. Při zvýšené teplotě přecházejí do stavu taveniny a to i opakovaně po předchozím ochlazení bez degradace struktury. Pro jejich zpracování je tedy nejvýhodnější technologie vstřikování, kdy je tavenina pod tlakem dopravena do dutiny formy, kde chladne. U amorfních termoplastů přechází do tuhého stavu pod teplotou T_f (teplota viskozního toku) a u semikrystalických pod teplotou T_m (teplota tání krystalů). Mezi typické zástupce termoplastů lze zařadit polyvinylchlorid (PVC), polykarbonát (PC), polyamid (PA), polyethylen (PE) či polymethylmethakrylát (PMMA).

- **Reaktoplasty**

Dříve termosety či duroplasty mají zesíťnou strukturu, která se vlivem chemické reakce za zvýšených teplot ještě zhušťuje a dochází tak ke zvyšování tuhosti a pevnosti na úkor houževnatosti. Jejich menší vrubová houževnatost oproti termoplastům je předurčuje k funkci tepelných a elektrických izolantů, jenž nejsou mechanicky namáhány. Při dalším zvyšování teploty při zpracování dochází k degradaci struktury a proto nejsou vhodné ke vstřikování. Zpracovávají se převážně technologií lisování. Typickými zástupci jsou epoxidy, fenolformaldehydy či polyesterové hmoty.

- **Elastomery**

Mají amorfni strukturu, která v počáteční fázi ohřívání měkne a lze ji tvářet. Při následném zvyšování teploty dochází k prostorovému zesíťnění, tedy ke zpevnění. Tento proces se nazývá vulkanizace, při kterém je prvotní surovina přírodní či syntetický kaučuk přetvořen na pryž.



Obr. 5 Polymery [14]

Dále polymery dělíme dle chemické struktury makromolekul na:

Homopolymer, který má makromolekuly složené ze stejných monomerů a na *Kopolymer*, jenž má makromolekuly složené z různorodých monomerů

Dále dle makromolekulární struktury, viz obr. 5.

- **Krystalická**

Tato struktura se vyznačuje pravidelným uspořádáním makromolekul. Avšak velká vzdálenost mezi makromolekulami zapříčiní chaotické uspořádání části makromolekul. Hovoříme pak o semikrystalické struktuře, jejíž vyhodnocení se posuzuje podle stupně krystalinity, jenž je vyjádřením procenta krystalického uspořádání v daném objemu.

- **Amorfní**

Tato struktura je zcela nahodilá bez zjevných pravidel uspořádání. Makromolekuly se shlukují do globulí, jenž jsou chaoticky stočeny a mají rozměr 10 - 30 nm. Amorfní struktura je charakteristická vyšší pevností, tvrdostí, odolností proti nárazové práci, odolností proti tečení (creepu) a smrštění je také výrazně menší než u semikrystalické struktury. Amorfní materiály známe z každodenního života, jsou průhledné a typickými zástupci jsou PMMA, PC, PVC.

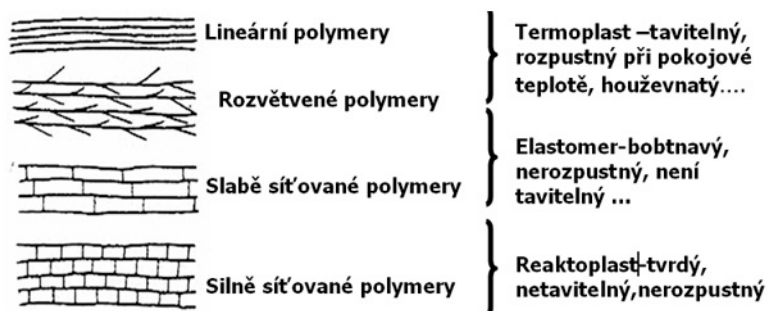
Dále dělíme dle tvaru výše uvedených makromolekul, viz obr. 6.

Lineární řetězec se skládá z monomerů uspořádaných v řadě za sebou. Mezi typické představitele této konfigurace lze zařadit PVC, PE, PS, čili termoplasty.

Rozvětvené řetězce jsou lineární makromolekuly rozšířené o boční větve a tato konfigurace se vyznačuje menší hustotou než lineární řetězec.

Zesítěný řetězec představuje propojení paralelních lineárních řetězců bočními větvemi. Vzniká tak velmi pevná kovalentní vazba. Jako typického zástupce této konfigurace lze uvést přírodní a syntetický kaučuk.

3Dsít' nalezneme u epoxidů a formaldehydů. Tato prostorová konfigurace se vyznačuje kovalentní vazbou.

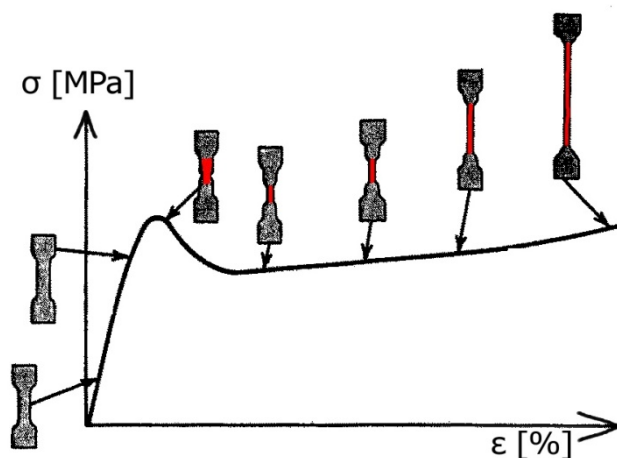


Obr. 6 Tvary makromolekul [14]

2.3 Vlastnosti plastů [15], [18]

- **Při zatížení**

Na rozdíl od kovových materiálů kombinují plasty při zatížení v tahu ideálně elastické a ideálně viskózní vlastnosti. Mají tedy viskoelastický charakter. Čili po překročení meze kluzu dojde ke vzniku krčku, avšak nedojde k jeho okamžité destrukci, ale k pozvolné deformaci, viz obr. 7. Toto chování vysvětluje vysokou hodnotu elasticity až do případného porušení vzorku při vyčerpání zásoby elasticity.

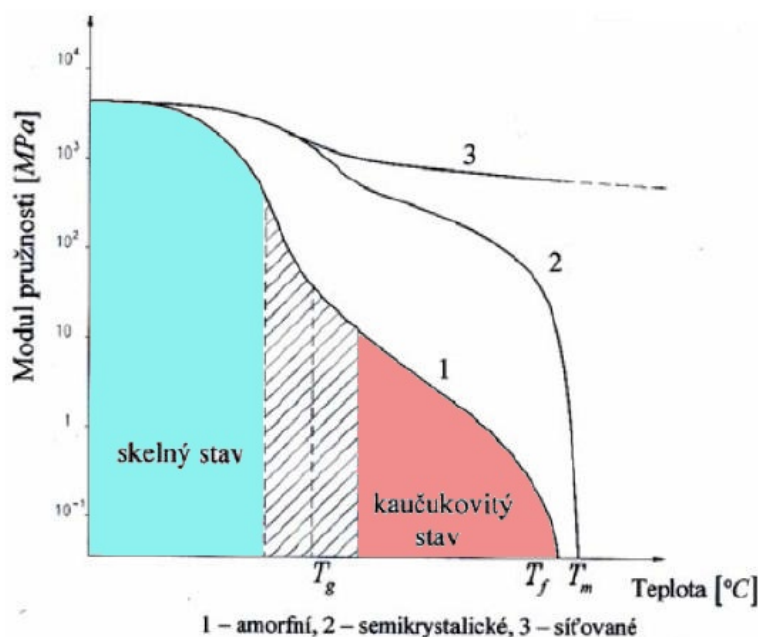


Obr. 7 Hookův diagram [15]

- **Termodynamické vlastnosti při zpracování plastů** [11],[23]

Termodynamické vlastnosti polymerních látek jsou přímo závislé na teplotě. Sledujeme pozvolnou a takzvanou skokovou závislost. Těmto skokům se říká přechodové teploty.

T_g – *teplota skelného přechodu*, při které se u amorfních plastů skokově mění mez pevnosti, hodnota modulu pružnosti cca. o tři řády a koeficient teplotní roztažnosti o 100 %. Konkrétní hodnoty se odvíjejí od velikosti mezimolekulárních sil, které se dají ovlivnit přidáním změkčovadel, které snižují mezimolekulární síly a tím klesá i hodnota teploty skelného přechodu.



Obr. 8 Teplota skelného přechodu [18]

T_f – *teplota viskózního toku* je mezí, kdy polymery ztrácí kaučukovité vlastnosti a přechází do stavu vysoce viskózní kapaliny. Tedy nad touto teplotou se nachází oblast tváření materiálu. Při dalším navyšování teploty dochází k degradaci materiálu a ke snižování jeho viskozity. Výjimkou jsou amorfní zesíťené polymery, u kterých lze pozorovat v této oblasti kaučukovitý stav s vysokým modulem pružnosti až do teploty rozkladu materiálu.

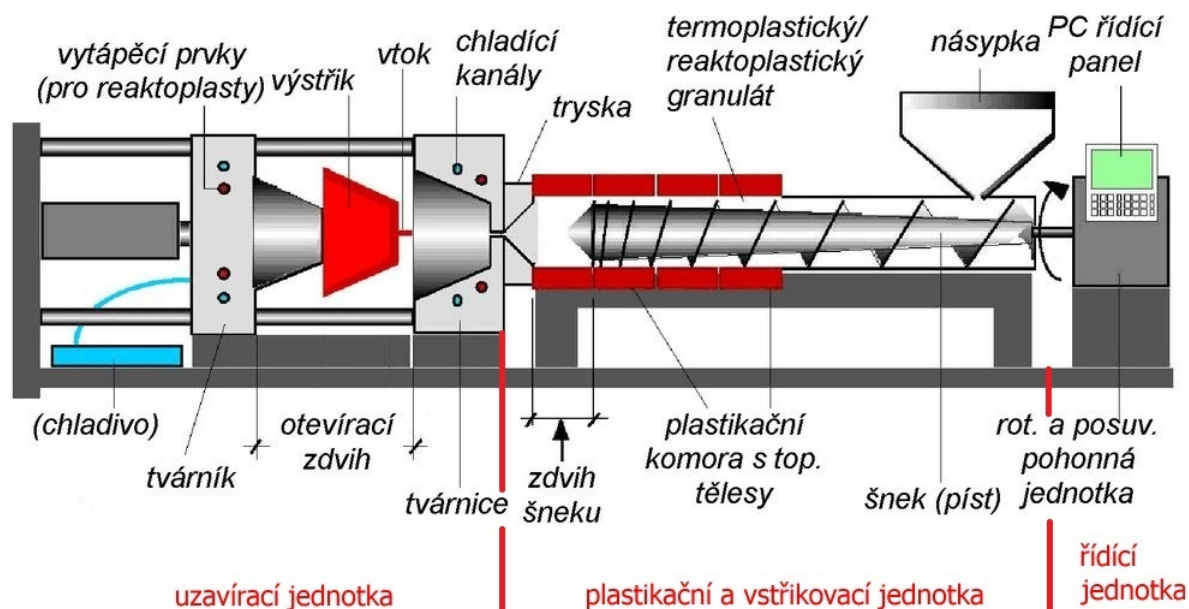
Tab. 1 Teploty polymerů [14]

T_m – *teplota tání krystalů* je významnou mezí pro semikrystalické polymery. Je střední hodnotou intervalu, ve kterém dojde k rychlé změně vlastností a přechodu z tuhého do kapalného stavu. Její hodnota je závislá na velikosti makromolekulárních sil a roste s rostoucí hodnotou těchto sil. Nad touto teplotou tedy dochází ke vstřikovávání semikrystalických polymerů.

	druh plastu	T_g [°C]	T_m [°C]
semikrystalické plasty	LDPE	-120	110
	HDPE	-120	130
	POM	-50	175
	PP	-15	170
	PA 6	50	223
	PA 6.6	50	260
	PTFE	126	327
	PEEK	143	334
	PI	> 400	-
amorfní plasty	PVC	87	-
	PS	95	-
	ASA	100	-
	SAN	105	-
	ABS	105	-
	PMMA	110	-
	PC	150	-
	PSU	190	-

2.4 Technologie vstřikování plastů [2],[14],[23]

Nejmasověji používaná technologie vstřikování do kovových forem se realizuje na vstřikovacích lisech, které obsahují tři základní jednotky, viz obr. 9.



Obr. 9 Schéma technologie vstřikování [14]

• Řídicí systém

Ovládání stroje řídí mikroprocesor s pamětí. Aby výrobní cyklus probíhal bezchybně, je důležité vhodné zvolení technologických parametrů, které je potřeba vyplnit na řídicím panelu lisu.

Při velké sérii může vlivem vnějších podmínek docházet ke změně technologických parametrů, proto je lis opatřen i regulačním systémem, který udržuje technologické parametry v normě na základě zpětné vazby. V neposlední řadě také eliminuje chyby obsluhy a vypíná stroj při zadání špatných parametrů, či při kolizi, která vznikla špatným založením či seřízením formy.

Řídicí systém je spojen s ovládáním manipulačních robotů, které zvyšují produktivitu práce při zakládání a manipulaci s výstřikem.

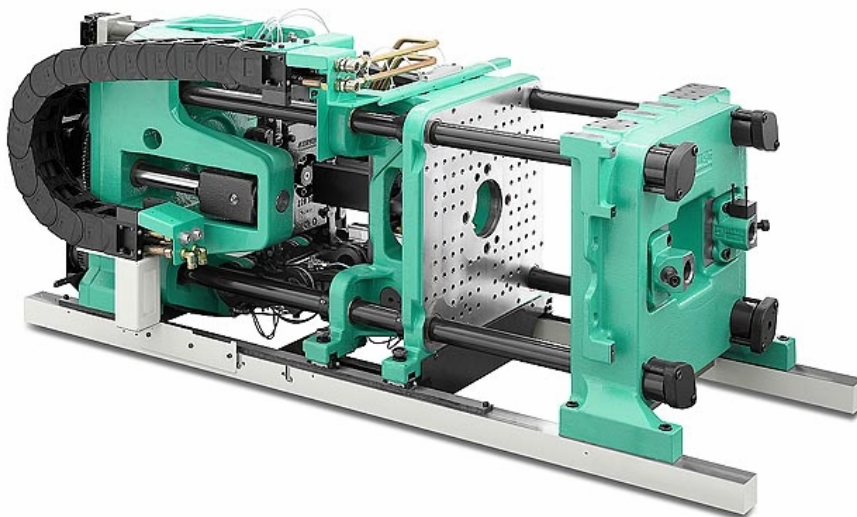
• Plastikační a vstřikovací jednotka

Plastikační jednotka se skládá z násypky granulátu s dávkovacím zařízením, plastikačním válcem s topnými tělesy, šnekem či pístem s pohonem a tryskou. Při správných parametrech přeměny plastikační jednotka granulát na homogenní taveninu o zvolené viskozitě, která je pak pod vysokým tlakem a rychlostí ovlivněnou typem trysky dopravena do tvarové dutiny formy axiálním pohybem šneku. Výhody šneku oproti pístu jsou:

- menší tlakové ztráty při vyšším plastikačním výkonu a vyšší teplotě taveniny
- vyšší vstřikovací rychlost při vyšší homogenitě taveniny
- kratší výrobní časy při nižším výkonu topných těles

- **Uzavírací jednotka**

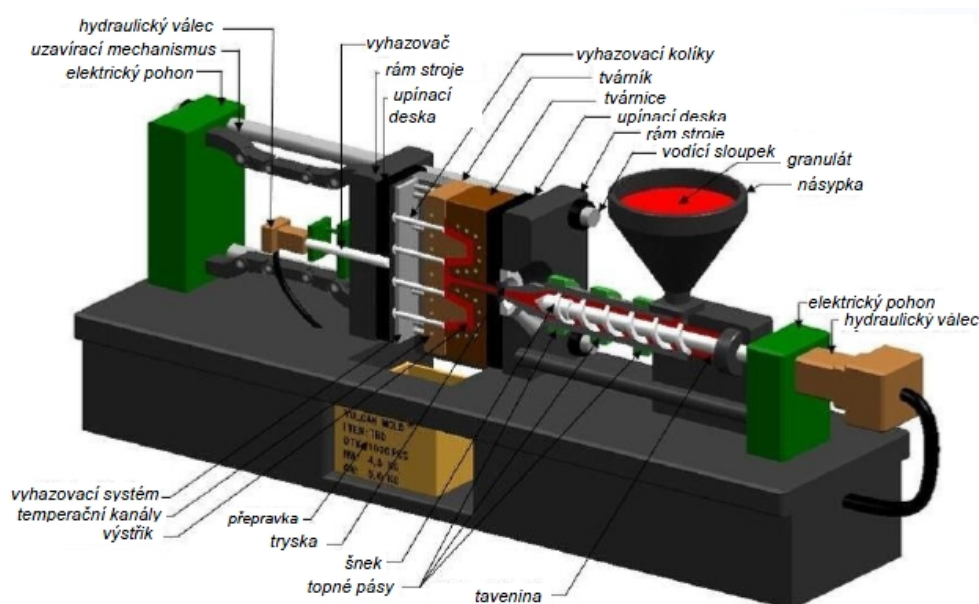
Tlak vstříkované taveniny vyvolá sílu na pohyblivou část formy, kterou musí překonat síla uzavírací jednotky, aby nedocházelo k pootevření formy a zastříknutí taveniny do dělicí roviny formy. Zpravidla je uzavírací jednotka hydraulická, kloubová či kombinovaná. Její součástí je i ovládání vyhazovacího systému formy.



Obr. 10 Uzavírací jednotka vstřikovacího lisu [2]

2.5 Rozdělení lisů dle uspořádání a jejich volitelné parametry [11],[14]

- svislé uspořádání, kde je osa vstřikovací a uzavírací jednotky ve vertikální poloze
- horizontální uspořádání, kde je osa vstřikovací a uzavírací jednotky v horizontální poloze je rozšířenější, viz obr. 11.



Obr. 11 Horizontální uspořádání [3]

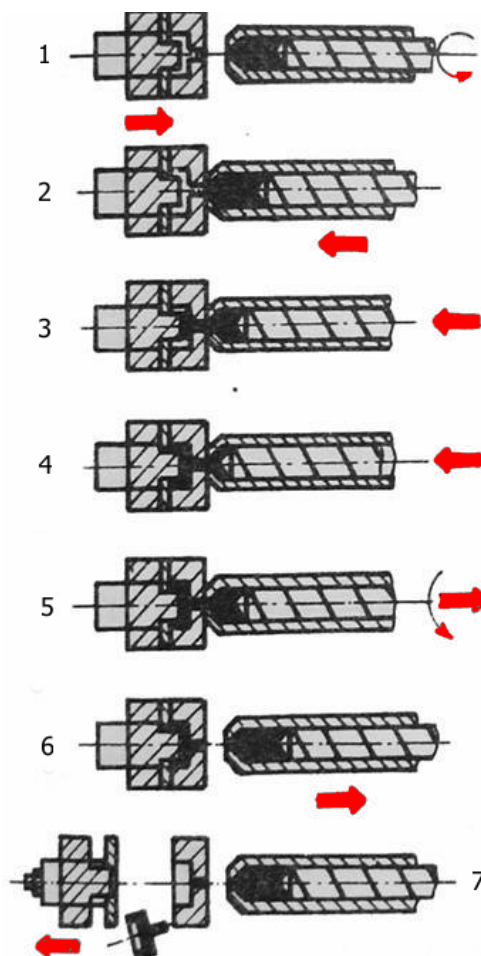
Technologie má striktně po sobě jdoucí fáze pohybu vstřikovacího lisu, viz obr. 12.

- 1 – uzavření formy
- 2 – přísun vstřikovací jednotky
- 3 – vstřikování
- 4 – dotlak
- 5 – plastikace
- 6 – odsun vstřikovací jednotky
- 7 – otevření formy, vyhození výstřiku

V prvním kroku je výchozí surovina ve formě granulátu nasypána do násypky, pod kterou se nachází dávkovací zařízení. Dávka granulátu odpovídá objemu výstřiku navýšeného o 5 až 10%. Tato rezerva se nazývá **materiálový polštář**, který slouží jako zásoba pro případné doplnění materiálu do dutiny formy a také slouží jako pružné prostředí mezi křehkým čelem šneku a stěnou tavicí komory.

• Dávkování

Dávka granulátu prochází šroubovicí otáčejícího se šneku. Vlivem tepla, které vyvolají ohřívací pásy plastikačního válce a vlivem tření mezi šnekem a stěnou plastikačního válce dochází k přeměně granulátu z tuhého stavu do stavu kapalného. Takzvané frikční teplo způsobené výše zmíněným třením snižuje potřebný výkon ohřívacích pásů až o 20%. Tavenina je hnětána a homogenizována otáčkami šneku a v závěrečné fázi axiálním pohybem šneku.



Obr. 12 Fáze vstřikování [14]

• Vstřikování

Axiálním pohybem šneku dochází k přesunu taveniny z plastikační komory do tvarové dutiny formy, která je temperována na požadovanou teplotu horkým tekutým médiem proudícím rozváděcími kanály uvnitř formy. Současně nastává zvýšení tlaku, aby se zaručila dobrá zabíhavost materiálu ve formě a bylo tak dosaženo stoprocentního zaplnění tvarové dutiny formy. Při tomto procesu sledujeme teplotu formy, teplotu taveniny, vstřikovací rychlost a vstřikovací tlak.

• Dotlak

Po fázi vstřikování okamžitě následuje fáze dotlaku, kdy hodnota tlaku klesne na 40 až 60% hodnoty vstřikovacího tlaku. Dochází tak k doplňování úbytku materiálu ve tvarové dutině vlivem smršťování tuhnoucího výstřiku. Tento úbytek je nahrazován z rezervy 5ti až 10ti %, o které byl navýšen objem granulátu vstupující do procesu. Dotlak působí to té doby, než dojde ke ztuhnutí vtokové soustavy. Doba a hodnota dotlaku má spolu s velikostí uzavírací síly formy a její tuhostí vliv na velikost zástřiků v dělicích rovinách formy. Přímou závislost je na správné dotlakové fázi přesnost výstřiku a jeho bezproblémové vyhození

z formy. Kvalita výstřiku je též závislá na správném čase přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak.

Při pozdním přepnutí je materiál vystaven dlouhou dobu vysokému tlaku a dochází tak k velkým zástřikům v dělicí rovině či k deformacím vzniklým velkými vnitřními pnutími uvnitř výstřiku.

Při brzkém přepnutí na dotlakovou fázi nedojde k dobrému zaběhnutí taveniny do všech míst tvarové dutiny, což vede k propadlinám či ke staženinám na povrchu výstřiku.

- **Chlazení**

Chladicí proces probíhá již ve fázi vstřikování a končí v okamžiku otevírání formy. Chlazení je realizováno tekutým médiem (voda, olej), které proudí rozváděcími kanály uzavřeného okruhu formy. Tyto kanály kopírují tvarovou dutinu, čímž je zajištěn účinný přenos tepla z výstřiku do chladicího média. S klesající teplotou výstřiku klesá současně tlak uvnitř tvarové dutiny. Návrh chladicí soustavy je závislý na tloušťce stěny a tvaru výstřiku, teplotě taveniny a teplotě formy, rychlosti vstřikování a na dotlakové fázi. Čas, po který formu ochlazuje, velmi ovlivňuje délku vstřikovacího procesu. Snažíme se tedy chladit velmi intenzivně, abychom zefektivnili výrobu z ekonomického hlediska.

- **Vyhazování**

Ztuhlý výstřik je po otevření formy vyhozen bez, či včetně vtokového zbytku mechanickými vyhazovači, případně proudem stlačeného vzduchu. Tvarové mechanické vyhazovače jsou ovládány mechanicky pomocí nastavitelného dorazu pohyblivé desky vstřikovacího lisu a jejich pohyb je tak automaticky sladěn s časováním procesu. Druhou možností představuje hydraulické ovládání vyhazovačů, kdy pohyb vyhazovacího systému není vázán na pohyb vstřikovacího lisu a je řízen jednotkou ovládající čerpadlo hydraulického okruhu.

Pro úspěšné zvládnutí celého vstřikovacího procesu, je potřeba sledovat a *optimalizovat tyto parametry:*

- **Plastikační kapacita**

Je hmotnost granulátu, kterou je lis schopen převést do plastického stavu za jednu hodinu. Dle minimální a maximální plastikační kapacity volíme výpočtem vhodný vstřikovací lis, podle objemu taveniny potřebné pro jeden cyklus vstřikování.

- **Vstřikovací kapacita**

Je to objem taveniny před čelem šneku, který je lis schopen vstříknout v jednom cyklu. Odvíjí se od objemu jednoho dílce, násobnosti formy a dotlakové rezervy. Je výhodné volit lis s velmi blízkou hodnotou daného objemu.

- **Vstřikovací síla**

Axiálním pohybem šneku je vyvinuta vstřikovací síla, jenž působí na taveninu před čelem šneku.

- **Vstřikovací tlak**

Je přímo úměrný vstřikovací síle a je to tlak, pod kterým vstupuje tavenina do trysky formy.

- **Tvářecí tlak**

Je to tlak působící uvnitř tvarové dutiny a je menší než vstřikovací tlak, vyvolaný axiálním pohybem šneku, vlivem tlakových ztrát.

- **Vstřikovací teplota**

Vstřikovací teplota je teplota taveniny procházející tryskou plastikační komory.

- **Dotlak**

Hodnota pokleslého tlaku během fáze tuhnutí výstřiku a jeho vtokové soustavy.

- **Zpětný tlak**

Zpětným tlakem zabránujeme tzv. dekompresi. Tímto tlakem působí čelo šneku na taveninu během její homogenizace a končí zatuhnutím plastu ve tvarové dutině formy. Hodnota tohoto tlaku je nižší než hodnota dotlaku. Významnou roli hraje u studených vtoků. Pro horké trysky není tak důležitý.

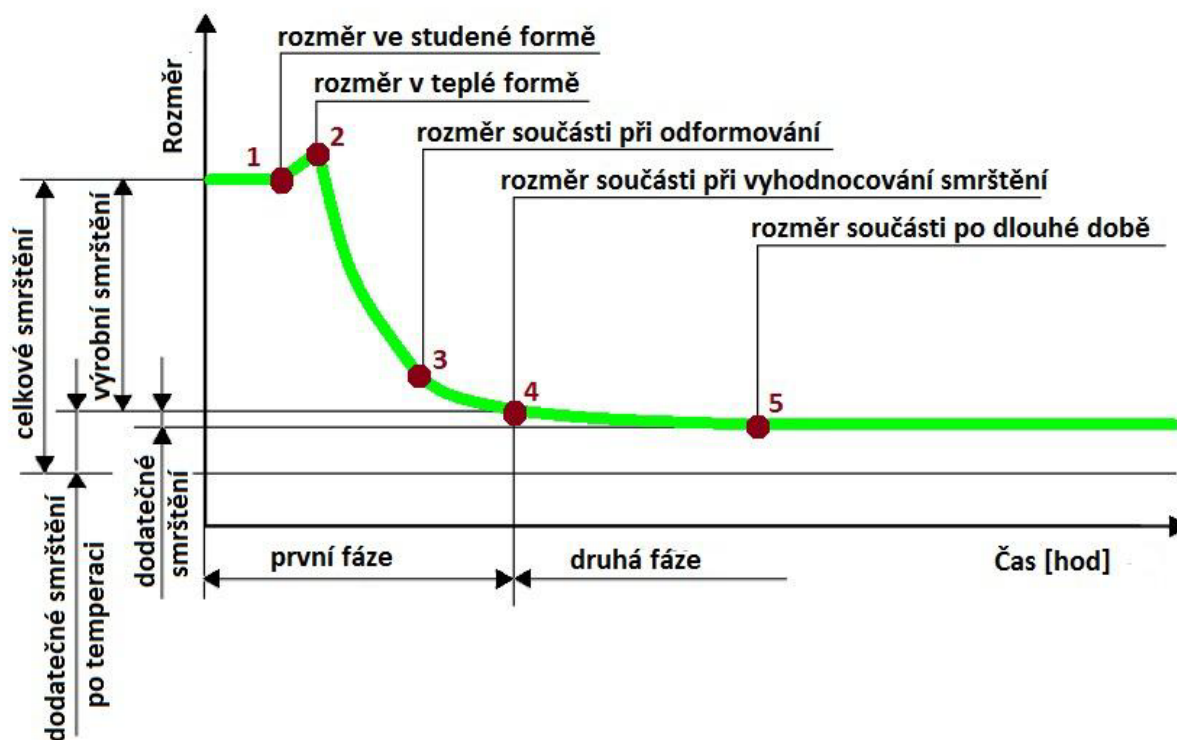
- **Uzavírací síla**

Touto silou je tlačena vyhazovací strana formy proti tryskové straně a je nutná k uzavření formy. Tato síla zabráňuje zastříknutí taveniny do dělicích rovin formy.

- **Přisouvací síla**

Přisouvací síla je menší než uzavírací, jelikož pomocí ní jen dochází k přisunutí vyhazovací strany formy ke straně tryskové.

Zcela samostatnou kapitolou zásadně ovlivňující kvalitu výstřiku je **smrštění**.



Obr. 13 Průběh smrštění [19]

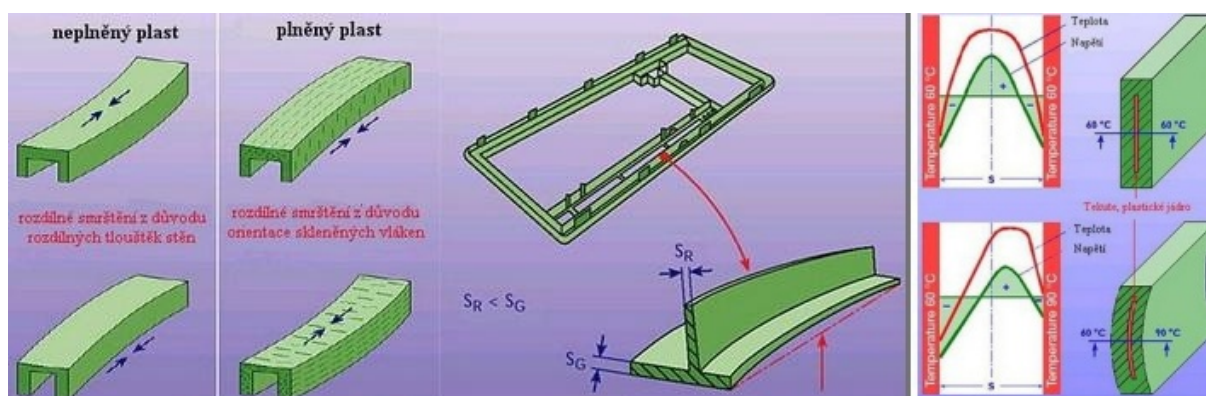
Definujeme-li smrštění, hovoříme o procentuálním rozdílu rozměru studené tvarové dutiny a výstřiku z ní vyrobeného. Měření výstřiku provádíme nejdříve 24 hodin po vyhození z formy a nejdéle 168 hodin v místnosti temperované na 23°C s relativní vlhkostí 50%. Abychom dosáhli korektního rozměru výstřiku musíme tvarovou dutinu zvětšit o předpokládaný rozměr smrštění. Vzhledem k tomu, že tato hodnota smrštění nebývá ve všech směrech na směr vstřikování stejná, je vhodné konstruovat sofistikovanou tvarovou dutinu. Ta se skládá z více tvarových vložek, které je možné korigovat ve třech osách, čímž se při korekčních odladění formy dosáhne požadovaného rozměru s minimálními náklady, které

by vznikly při výrobě nových vložek. Umístění vtoku má též vliv na celkové smrštění, proto jej volíme zvlášť pečlivě, jelikož změna jeho pozice není tak jednoduchá a často je s tím spojená celková změna koncepce formy. Dalšími parametry ovlivňující smrštění jsou tloušťka stěny, druh vstřikované hmoty či doba dotlaku. Při krátké době dotlaku se smrštění zvětšuje. Celková hodnota smrštění se skládá z výrobního smrštění, které nastává při zatuhnutí výstřiku ve formě a činí až 90% z celkové hodnoty. Dodatečná hodnota smrštění se projeví v delším časovém horizontu a lze ji urychlit vhodnou temperací výstřiku. Pro nejpoužívanější druhy plastů existují tabulky celkového smrštění. Pro semikrystalické plasty se smrštění pohybuje v intervalu 0,8 až 4% a pro amorfnní plasty 0,3 až 0,5%. Avšak nelze se na tyto tabulky vždy spoléhat, neboť každý tvar výstřiku se chová jinak a pozorujeme rozdíl u neplněných plastů a u plastů plněných, např. skelným vláknem, viz obr. 14. Pak hovoříme o:

- **Anizotropii smrštění** [13], [23]

U neplněných termoplastů pozorujeme rozdíly pouze mezi smrštěním ve směru kolmém na směr toku taveniny a ve směru rovnoběžném. Toto chování ovlivňuje řada faktorů a vlastností materiálu. Nelze obecně paušalizovat poměr kolmého a rovnoběžného smrštění na směr toku taveniny u termoplastů. Z praxe vyplývá, že u semikrystalických termoplastů dochází k větším hodnotám anizotropie v intervalu 10 až 25%. Na rozdíl u amorfnních termoplastů se interval pohybuje v mezích 5 až 10%.

V důsledku použitého vláknového plniva plastu, které zapříčiní směrovou rozdílnost rozměrových změn pozorujeme velikost rozdílů podélného a příčného smrštění v intervalu 20 až 60%. Při použití částicového plniva je tento rozdíl menší. Při obsahu částicového plniva zhruba 40% lze konstatovat, že je hodnota smrštění prakticky stejná v obou směrech, neboli izotropní.



Obr. 14 Smrštění plněných materiálů [14]

- **Přesnost výstřiku z termoplastu** [23]

Výrobní tolerance plastových výstřiků se řídí normou ČSN 64 0006, která požadovanou přesnost popisuje pomocí stupňů IT. Tyto rozměry se kontrolují v ustáleném stavu, tedy 24 hodin po vyjmutí z formy na kontrolním pracovišti se zaručenou teplotou $23 \pm 2^\circ\text{C}$ a vlhkostí vzduchu 50%. V praxi lze dosáhnout výrobní přesnosti u :

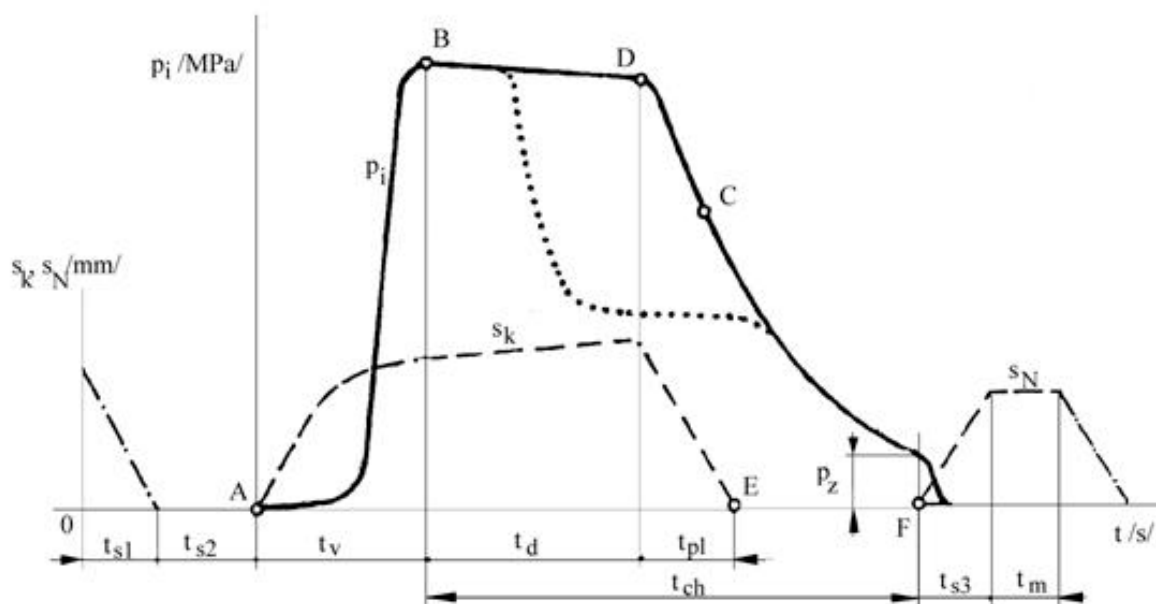
- amorfnních termoplastů IT 10 až IT 12
- semikrystalických termoplastů IT 11 až IT 13
- měkčených termoplastů IT 14 až IT 16

Chceme-li zvětšit přesnost menších výstřiků je vhodné zvolit jednonásobnou formu. Tímto krokem se přesnost může zvýšit o 1 stupeň IT.

- **Časový průběh tlaku ve formě [11],[23]**

Výše uvedené parametry lze lépe popsat pomocí obr. 15, který znázorňuje průběh tlaku taveniny v čase během vstřikovacího procesu.

V čase $t_0 = 0$ s kdy je tvarová dutina otevřená, dochází k přisunutí vyhazovací strany formy k tryskové přísouvací silou F_{PR} , která má zhruba třetinovou hodnotu oproti uzavírací síle F_U . Čas těchto úkonů se nazývá strojní. Po uzavření formy silou F_U začne šnek konat pouze axiální pohyb. V tento okamžik působí jako píst, který vstřikuje taveninu do dutiny formy. Vnitřní tlak v dutině značíme p_i . Následuje přepnutí tlaku na hodnotu dotlaku, jehož průběh můžeme rozdělit na izobarický či izochorický. Tečkovaná křivka charakterizuje možnost nastavení průběhu dotlakové části. S probíhajícím chlazením formy a výstřiku, které začíná při začátku vstřikování a končí těsně před otevřením formy, dochází k poklesu vnitřního tlaku. Doba chlazení nikdy nesmí být kratší, než součet časů dotlaku a plastikace. Jakmile skončí dotlaková část, nastává plastikace granulátu. Při současném axiálním a rotačním pohybu šneku zpět, kdy tavící se granulát překonává tzv. protitlak, dochází k jeho přesunu před čelo šneku do plastikační komory. V tento okamžik, kdy již může dojít k otevření formy, je v její dutině tzv. zbytkový tlak p_z .



p_i – vnitřní tlak

p_z – zbytkový tlak při otevírání formy

s_k – pohyb šneku

s_N – pohyb nástroje (formy)

t_{s1} – doba uzavírání formy

t_{s2} – doba přisouvání vstřikovací jednotky k formě

t_v – doba vstřikování

t_d – doba dotlaku

t_{ch} – celková doba chlazení

t_{pl} – doba plastikace

t_{s3} – doba otevírání formy

t_m – prodleva

A – začátek vstřikování

B – konec plnění dutiny formy

C – konec dotlaku

D – začátek dotlaku

E – konec plastikace

F – konec chlazení a začátek pohybu formy

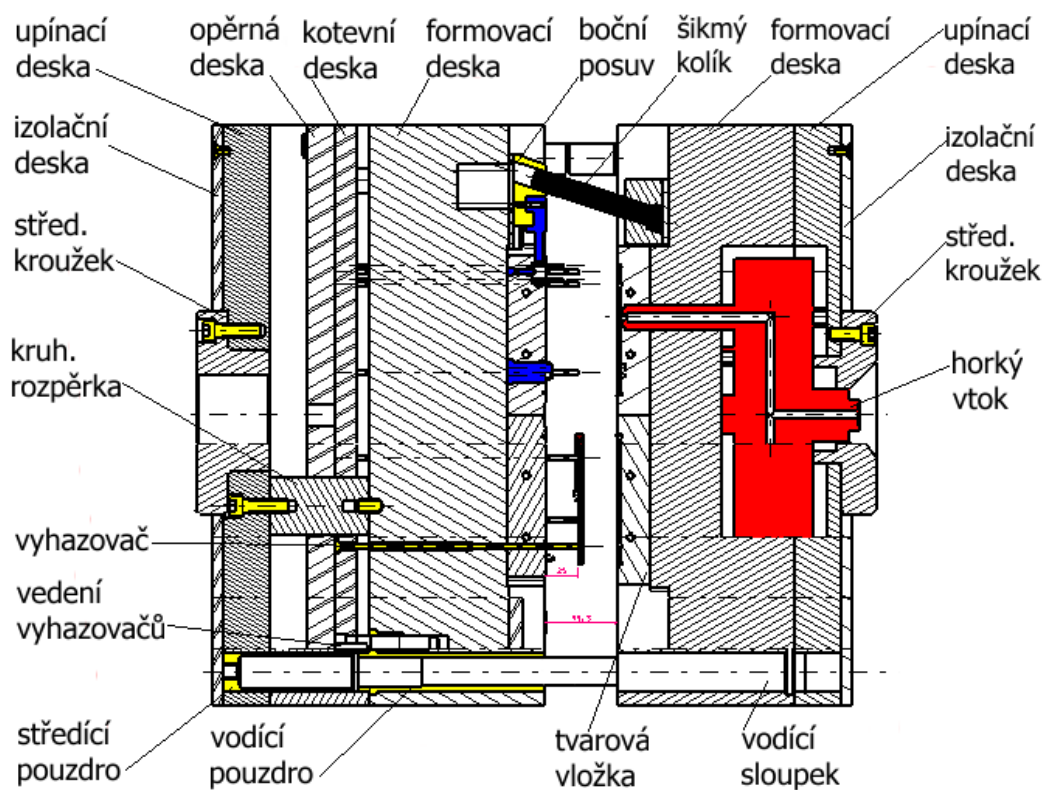
Obr. 15 Průběh tlaku ve formě [14]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMY [8],[11],[18],[23]

Vstřikovací forma je nástroj pro výrobu plastových dílců, jenž je konstruován pro daný vstřikovací lis, na kterém tvoří výměnnou jednotku. Z tohoto důvodu se snažíme formu konstruovat z co nejvíce nakupovaných normálií, které formu unifikuji pro použití na co nejvíce vstřikovacích lisech. Cena formy tak klesá, neboť v zásadě stačí obrobit pouze tvarové části normálií, abychom dosáhli požadovaného tvaru dutiny. Nákupem normálií také dosáhneme lepší spolehlivosti, neboť máme zaručené přesné a spolehlivé uložení jak pevných, tak i pohyblivých normálií, které musí fungovat desítky až stovky tisíc cyklů bez údržby. Celková životnost dobré formy se pohybuje v řádu milionu cyklů. Zpravidla pak dochází k opotřebení tvarové dutiny. Ta se repasuje pomocí přeleštění a v případě většího opotřebení výrobou nových vložek, či jejich snížením a podložením, dovoluje-li jim to jejich tvar.

V následujících obrazech formy rozlišujeme barevné rozdělení

- tmavě šedá.....normálie HASCO (desky)
- světle šedá.....vyráběné součástky
- modrá.....vyráběná tvarová jádra
- odstíny žluté.....normálie HASCO
- červená.....normálie Synventive (tryska)



Obr. 16 Vstřikovací forma

3.1 Rozdělení vstřikovacích forem [11],[23]

- **Dle umístění trysky**

V ose formy

V dělicí rovině formy

- **Dle počtu tvarových dutin**

Jednonásobné

Vícenásobné

- **Dle uspořádání vtoku**

Dvoudeskové

Třideskové – automatické odstřižení vtokové soustavy

S horkým vtokem – odpadají ztráty materiálu ve vtokových kanálech

S izolovanými vtokovými kanály

S vyhřívanými vtokovými kanály

- **Dle konstrukce**

Jednoduché

S pohyblivými jádry

Čelistové – vedení bočních čelistí šikmými kolíky

Etážové – obsahuje několik tvarových dutin nad sebou

- **Dle zpracovatelského materiálu**

Termoplasty

Reaktoplasty

Elastomery

3.2 Konstrukce forem [8], [11],[14]

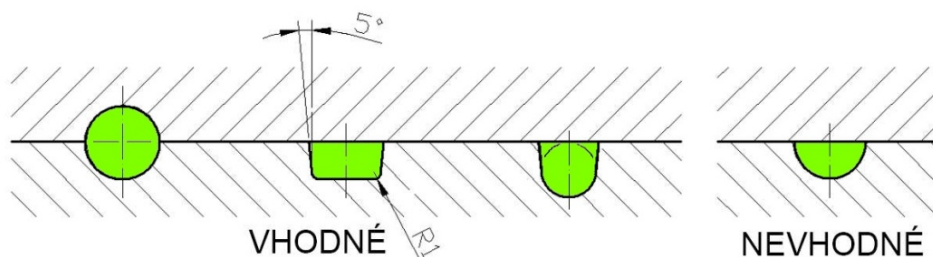
- **Zaformování výstřiku**

Velmi důležitým konstrukčním krokem je správné zvolení dělicí roviny. Dělicí rovina se volí tak, aby výstřik zůstal po otevření formy na její vyhazovací straně. Dále se bere ohled na vyrobitelnost tvarových vložek a na optimální průběh vstřikovacího procesu. Je tedy vhodné umístit do každé strany formy ideální polovinu objemu výstřiku. Avšak někdy se volí dělicí rovina tak, aby designově vyhovovala zákazníkovi, neboť stopa po dělicí rovině je vždy na výstřiku patrná.

- **Vtoková soustava**

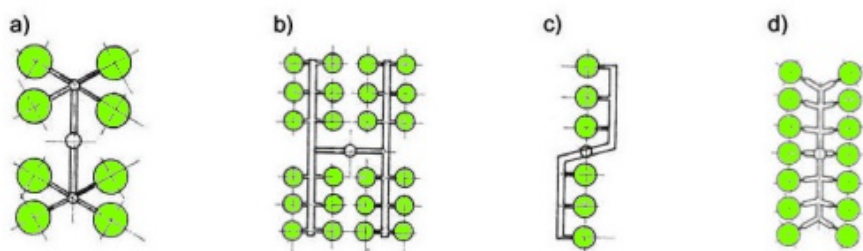
Cestu z plastikační komory do tvarové dutiny formy vykoná tavenina vtokovou soustavou, která se skládá z hlavního kanálu a rozváděcích kanálů do násobků tvarových dutin formy, viz obr. 18. Ty jsou zakončeny ústím vtoku, na jehož umístění závisí rovnoměrné plnění tvarové dutiny za co možná nejkratší dobu s minimálními odpory, čímž se eliminuje vznik studených spojů a vznik zbytkových napětí. Tvar ústí vtoku by měl být navrhnout tak, aby se stopa po vstřikování již nemusela manuálně začišťovat.

Rozváděcí kanály jsou voleny tak, aby měli co nejmenší kontaktní plochu s taveninou, při co největším průřezu, viz obr. 17. Z toho vyplývá, že nejvhodnější je kruhový průřez, který je však náročnější na výrobu. Jeho velikost závisí na tloušťce stěny výstřiku, jeho objemu, délce rozváděcích kanálů, vstřikovaném materiálu a temperaturaci formy.



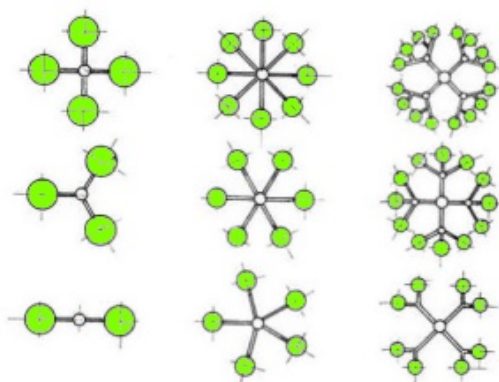
Obr. 17 Průřezy rozváděcích kanálů [17]

Toto řešení je pro tzv. studený systém, kdy tavenina tuhne i v rozváděcích kanálech a vzniká tak zbytečný odpad.



ŘADOVÉ USPOŘÁDÁNÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

- a) se stejnou délkou toku taveniny
b), c), d) s nestejnou délkou toku taveniny (nevhodné bez korekce ústí vtoku)



SYMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY VÍCENÁSOBNÝCH FOREM

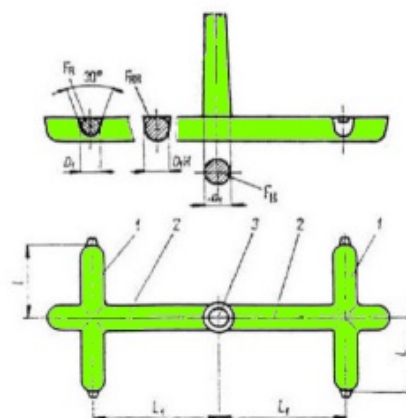


SCHÉMA SOUSTAVY ROZVÁDĚCÍCH KANÁLŮ

1- vedlejší, 2- hlavní, 3- vtokový kužel

Obr. 18 Násobnost forem [24]

Aby se ušetřily výrobní náklady, volí se tzv. **horké trysky**, které eliminují materiálové ztráty v rozváděcích kanálech.

Elektricky vyhřívaná horká tryska, viz obr. 19, je prodloužením plastikační komory směrem ke tvarové dutině. Plast tedy tuhne až v dutině a jedinou známkou vtokové soustavy může být malá stopa na výstřiku po ústí trysky. Tímto je dosaženo lepší jakosti výstřiků, jelikož odpadá manipulace s vtokovým zbytkem a zrychlují se výrobní časy. Ty kompenzují vysoké pořizovací náklady komponent horké vtokové soustavy, kterými jsou trysky, horký vtokový kužel, horký kříž, elektrické přípojky, kabely a čidla teploty. Jelikož je nutné zaručit vysokou homogenitu taveniny, aby nedocházelo k degradaci plastu, jsou čidla teploty velmi důležitým prvkem soustavy, která dodává potřebné informace obsluze lisu. Obsluha může teplotu regulovat manuálně pomocí odporových spirál, nebo navolit automatický režim s termočláňkovou odezvou.

- **Typy horkých vtokových soustav**

Izolovaná horká vtoková soustava

Vnitřně vyhřívaná horká vtoková soustava

Externě vyhřívaná horká vtoková soustava

- **Dělení dle počtu horkých trysek vzhledem k počtu vstřikovaných dílců**

Jeden plastový dílec na jednu trysku – jednobodové vstřikování

Více než jeden plastový dílec na jednu trysku

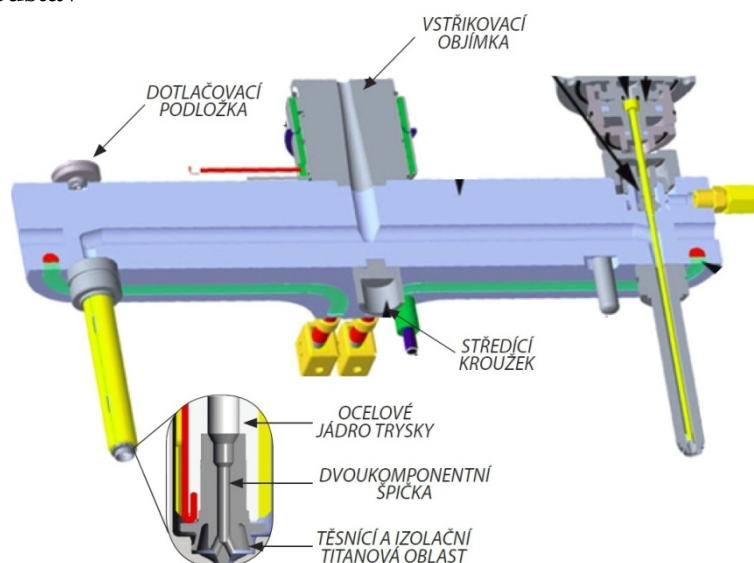
Více trysek na jeden plastový dílec – vícebodové vstřikování

Výhody horkých vtokových soustav

- kratší čas vstřikovacího cyklu
- odpadá transport a recyklace vtokových zbytků
- redukce vstřikovací dávky = menší plastikační kapacita lisu
- redukce uzavírací síly v důsledku odpadnutí vtokové soustavy
- pokles vstřik. tlaku u vícenásobných forem s rozvětvenou vtok. soustavou nenastane
- kvalita výstřiku
- snížení hodnoty smrštění

Nevýhody horkých vtokových soustav

- energetická náročnost
- vysoká cena energií použitých při samotném vstřikování.
- nutnost zajistit vysokou teplotní homogenitu a správné umístění termočláňků, aby nenastala degradace taveniny plastu v důsledku přehřátí soustavy
- kratší interval údržby formy.
- cena výroby a údržby formy



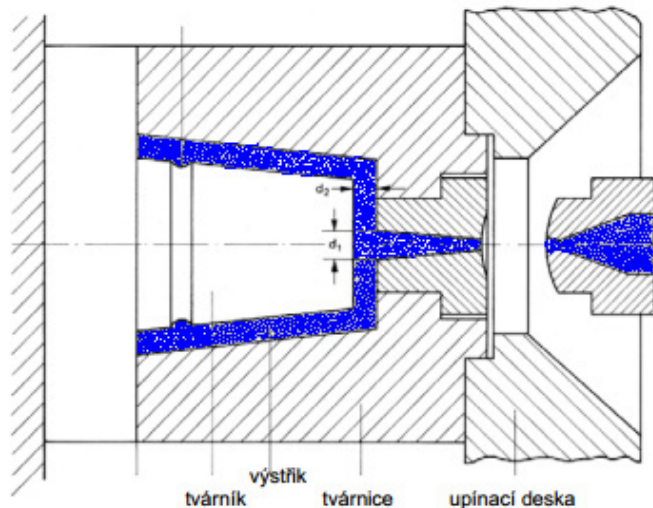
Obr. 19 Horká tryska [16]

3.2.1 Vtoky [4],[11]

Vtok lze charakterizovat jako přechod mezi rozváděcími kanály vtokové soustavy a tvarovou dutinou formy. Jeho typ a umístění zásadě ovlivňuje proces a úspěšnost vstřikování. Proto jsou na něj kladeny vysoké požadavky. Zpravidla bývá strojově zrcadlově zaleštěn ve směru tečení taveniny.

- **Kuželový vtok**

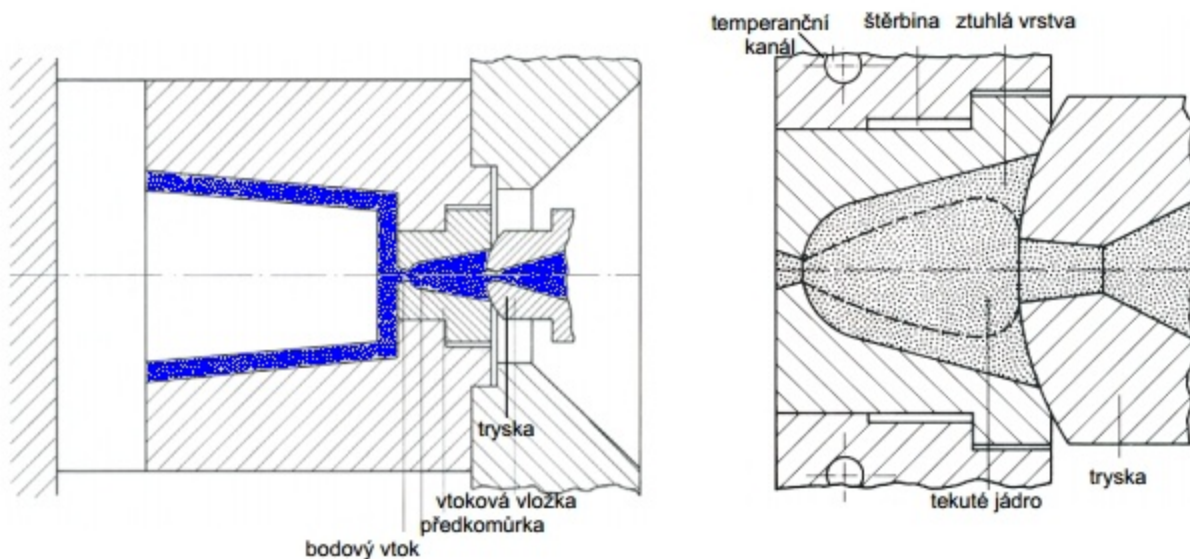
Pro objemné výstřiky s dlouhým časem dotlaku volíme kuželový vtok. Kuželovitost se pohybuje v intervalu 1:15 až 1:50, aby bylo zaručeno bezproblémové vyhození výstřiku z formy na úkor větší spotřeby materiálu. Kuželovitost dále zabraňuje předčasnému zatuhnutí taveniny, viz obr. 20. Při použití tzv. čočkovitého tvaru je zaručeno zlepšení vtokových vlastností.



Obr. 20 Kuželový vtok [4]

- **Bodový vtok**

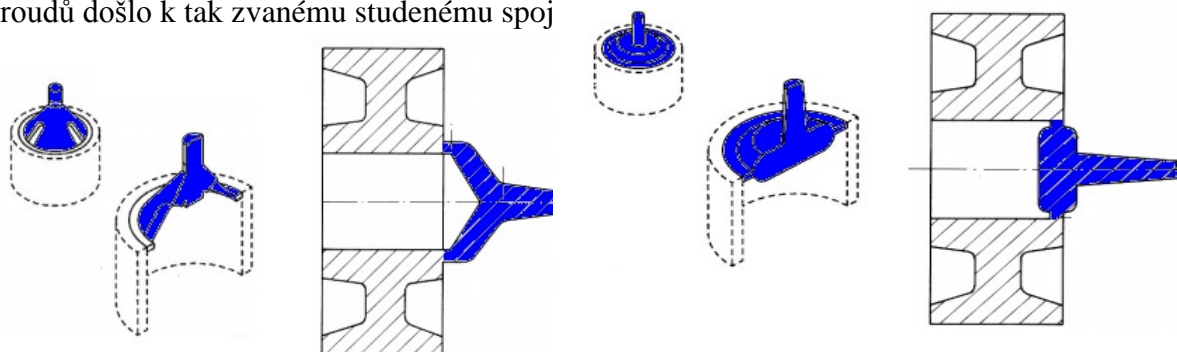
Zúžením vtoku je podmíněno vstřikování menších součástek, u kterých je nežádoucí velká stopa po vtoku. Z výrobních důvodů se nejčastěji používá kruhový průřez, viz obr. 21, ale lze volit i obdélníkový či půlkruhový. Avšak nelze jej doporučit pro viskózní a plněné materiály při volbě studené vtokové soustavy! Aby bylo možné oddělení vtokové soustavy od výstřiku, je třeba použít tzv. třideskovou variantu formy, která umožní odtrhnutí vtoku od výstřiku ještě před samotným otevřením formy.



Obr. 21 Bodový vtok [4]

- **Deštníkový a talířový vtok**

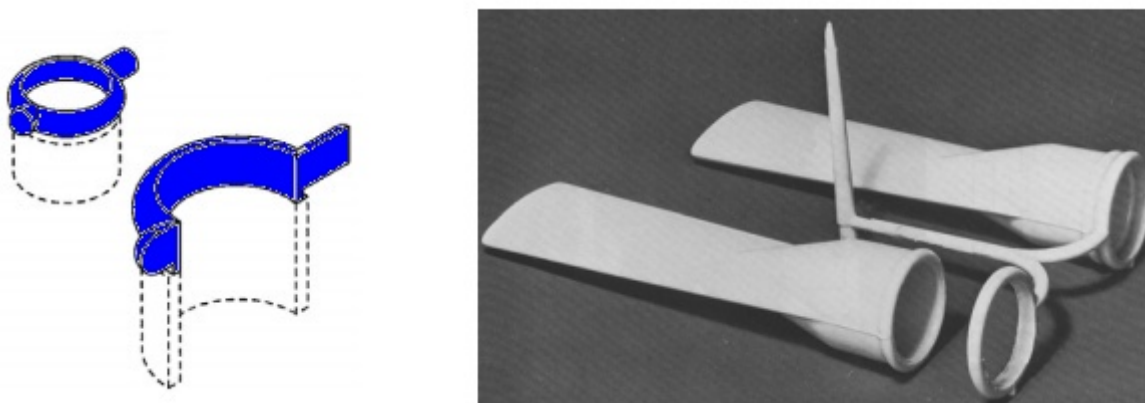
Je-li ve formě jádro pro výrobu kratší duté součástky, využívá se deštníkového nebo talířového vtoku, viz obr. 22. Talířový vtok se vyznačuje radiálním tečením materiálu oproti deštníkovému, který má směr tečení axiální. Společným charakterem je úzké ústí po celém obvodu výstřiku. Při využití bodového vtoku by při obtékání jádra a následného spojení dvou proudů došlo k tak zvanému studenému spoj



Obr. 22 Deštníkový a talířový vtok [4]

- **Prstencový vtok**

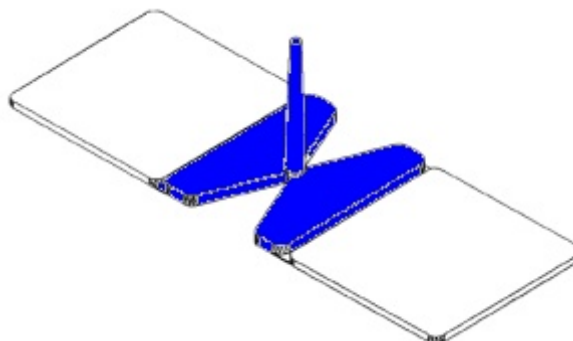
Je-li ve formě dlouhé jádro, u kterého hrozí vyosení či průhyb vlivem radiálního tečení, používá se prstencový vtok. Také se vyznačuje úzkým ústím po obvodu. Tělo prstence představuje materiálovou rezervu, kterou lze využít v dotlakové části.



Obr. 23 Prstencový vtok [4]

- **Štěrbínový vtok**

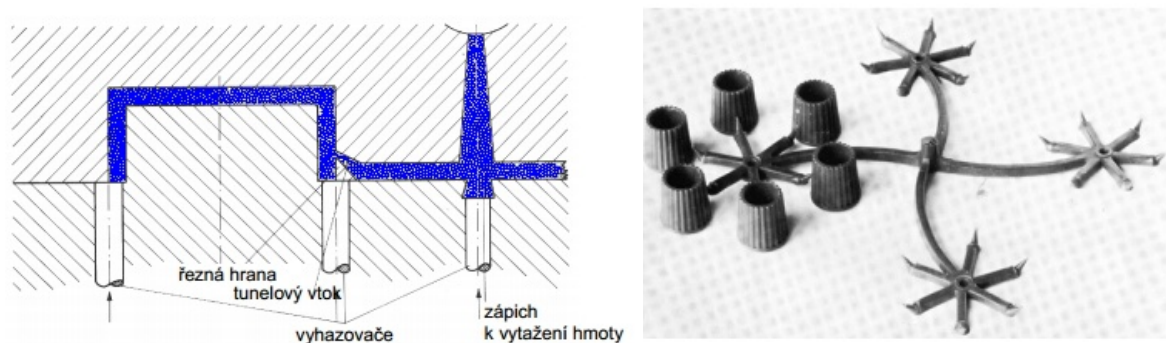
Vznikne-li potřeba vstříkovat taveninu do dělicí roviny formy, volí se štěrbinový vtok. Napomáhá k lepšímu zatékání materiálu aditivovaného skelným vlákem a zvyšuje se tak přesnost výstřiku. Velká materiálová zásoba se dodatečně odděluje po vyhození výstřiku z formy, viz obr. 24.



Obr. 24 Štěrbínový vtok [4]

- **Tunelový vtok**

Tunelový vtok je velmi progresivní řešení vtoků. Třideskový systém forem nahrazuje dvoudeskový, což vede ke snížení nákladů. Ty ani nezvyšuje výroba samotného vtoku elektrojiskrovým obráběním, neboť je to v dnešní době zcela běžná technologie, kterou lze již zařadit jako konvenční. Principem tunelového vtoku je automatické oddělení vtokového zbytku odstřížením od výstřiku při otevírání formy.



Obr. 25 Tunelový vtok [4]

3.2.2 Temperační soustava [14],[17]

Soustavou temperačních kanálů proudí jak chladicí, tak i temperovací kapalina. Používá se voda a oleje, které umožňují temperaci nad 100°C. Správný průběh teploty formy v čase je důležitý pro hladký průběh vstřikovacího cyklu. Před vstříknutím plastu je forma předehřáta na požadovanou teplotu podle použitého materiálu, viz tab. 2. Jakmile je tavenina plastu ve tvarové dutině, vnáší do formy teplo, které je třeba odvádět, viz obr. 27. Na základě funkce temperačního okruhu dojde k ochlazení výstřiku na takovou teplotu, aby jej bylo možné vyhodit.

Temperace i ochlazení musí být homogenní v celé formě, aby se eliminovalo smrštění a vznik tvarových deformací.

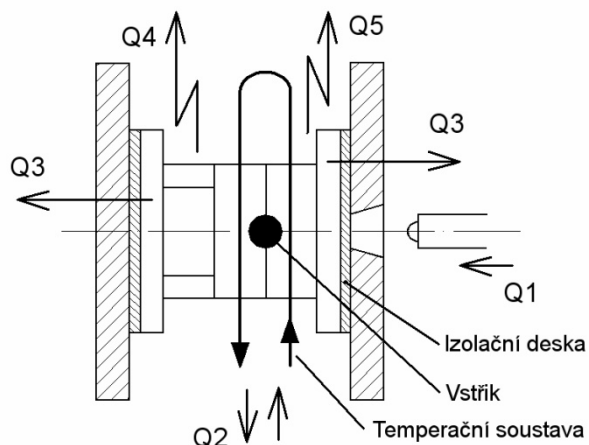
Rozmístění kanálů nelze paušalizovat. Vychází z tvaru výstřiku, tloušťky jeho stěny a zpravidla se volí dle zkušenosti konstruktéra, který má k dispozici simulační analýzu, viz obr. 26. Platí však zásada, že více menších kanálů je lepší, než jeden větší. A to z důvodu snížení zvlnění teplotního toku a zlepšení přestupu tepla. Dále je třeba volit dostatečnou vzdálenost od tvarové dutiny, aby tloušťka stěny neklesla pod únosnou mez, neboť musí čelit vysokým tlakům ze strany tvarové dutiny.

Tab. 2 Provozní teplota formy [14]

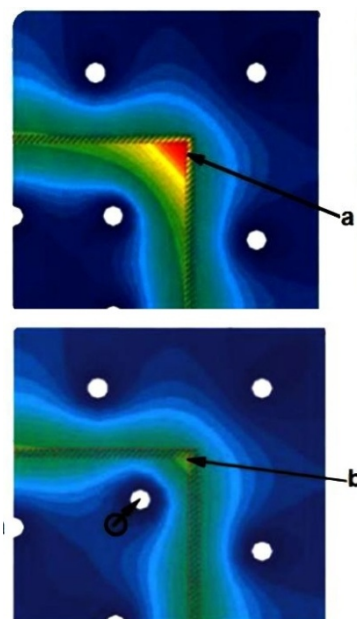
Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]	Teplota vhodná pro vyhození výrobku z formy [°C]
ABS	190-250	50-85	80-100
PA 6	260-280	40-120	100
PA 6-GF	270-290	80-120	140
PA 66	275-295	80-100	100
PA 66-GF	280-300	80-120	130
PC	280-320	85-120	<140
PC-GF	310-330	80-130	<150
HDPE	180-270	20-60	-
LDPE	180-270	20-60	-
PMMA	200-2500	50-80	-
POM	180-220	50-120	-
PP	170-280	20-100	-
PS	180-260	55-80	-
PVC tvrzené	190-220	30-60	-
SAN	200-260	50-85	80-95
PEEK	380-430	160-220	-

Veškeré konstrukční návrhy vycházejí z tepelné bilance formy. Tou je rovnováha mezi teplem vneseným do formy taveninou a teplem odvedeným nuceným a přirozeným ochlazováním.

- Q1 - teplo přivedené taveninou
- Q2 - teplo přiváděné či odváděné temperačním médiem
- Q3 - teplo vedené do stroje
- Q4 - teplo odváděné sáláním
- Q5 - teplo odváděné sáláním



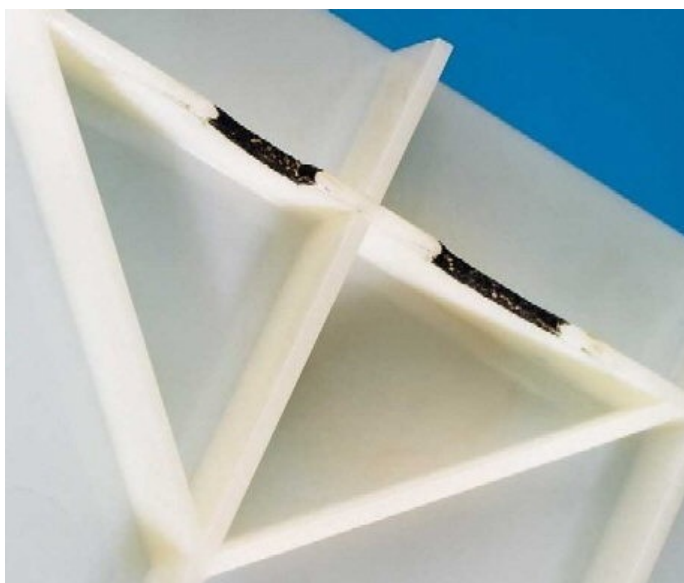
Obr. 27 Tepelná bilance formy [17]



Obr. 26 Analýza chlazení a) před korekcí
b) po korekci kanálu [19]

3.2.3 Odvzdušňovací systém

Při plnění tvarové dutiny je třeba vytlačit vzduch, kterým byla dutina naplněna po vyhození předchozího výstříku. Pokud dutinu vzduch neopustí, vzniknou ve výstříku bubliny, hmota nedostříkne tvar z důvodu velkého odporu proti tečení. Vlivem vysoké rychlosti a tlaku taveniny dojde ke shoření plastu, tzv. dieselefekt, viz obr. 28. Aby k tomu nedocházelo, jsou v konstrukci formy použity k tomu určené normalizované díly. Jsou to tvarové vložky s tak malým otvorem, aby do něj nebyla kapalina schopna zatéct. Pokud je toto řešení nákladné či technicky nemožné, využívá se mezery v dělicí rovině, která bývá doplněna kanálky, které vzduch vyvedou ven. Často se tyto kanálky doplňují při zkoušení již zkompletované formy. Jejich umístění a velikost je pak v rukou technologa a nástrojaře, kteří vycházejí z předchozích zkušeností.



Obr. 28 Diesel efekt [14]

3.2.4 Vyhazovací systém

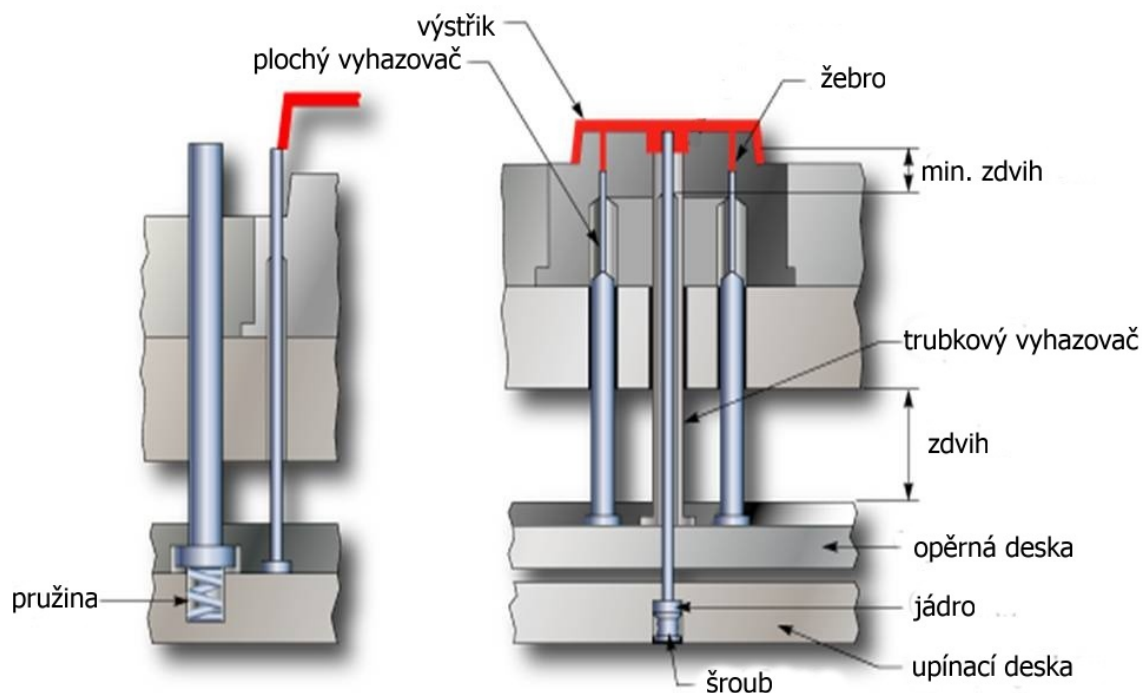
K úspěšnému opuštění tvarové dutiny slouží výstřiku tzv. vyhazovací systém. Aby vyhazovací systém nepřekonával zbytečnou sílu, je nutné, aby výstřik nekladl odpor. Proto je zapotřebí správné úkosování a zaleštění tvarové dutiny ve směru vyjímání. Vyhazování výstřiku z dutiny je plně automatické.

- **Mechanické systémy**

Zpravidla jej realizuje uzavírací jednotka stroje, na kterou je napojen vyhazovací systém skládající se z kotevní a opěrné desky.

V kotevní desce jsou upevněny normalizované **válcové vyhazovače**, viz obr. 29, kterým zpravidla stačí upravit tvarovou část. Na trhu je nabízen velké množství firem. Obecně platí, že uložení těchto vyhazovačů ve tvarové vložce se řídí viskozitou vstřikovaného plastu. Lze uvést řadu H7/g6, H7/h6, H7/j6. Často však nemusí pouze kopírovat tvar dutiny. Zasahují do ní a tvoří tvar výstřiku. Vykonávají tedy funkci jádra a vyhazovače najednou. Jejich obdobou jsou **trubkové vyhazovače**, viz obr. 29, sloužící k rozšíření styčné plochy s výstřikem.

Pokud by ani toto rozšíření styčné plochy nestačilo a hrozilo by zborcení výstřiku, využívá se tzv. **stírací desky**. Síla se rozloží po celém obvodu výstřiku, který je stáhnut z tvárníku s minimální stopou po vyhození.



Obr. 29 Vyhazovače [7]

- **Pneumatické systémy [18]**

Tenké až fóliové výstřiky nelze mechanicky vyhazovat bez poškození. Řešení přináší vyhazování stlačeným vzduchem, který je do dutiny formy přiváděn tryskami. Ty jsou regulovány jehlovým či talířovým jednocestným ventilem, který je uzavírán ze strany dutiny pružinou. Výstřiky jsou beze stopy po vyhození.

4 NÁVRH FORMY [8],[11],[18]

Důležitým krokem je volba vhodného materiálu. Předejde se tak problémům při vstřikování

a následným defektům při funkci výstřiku v zástavbě. Často však musíme volit kompromis mezi výrobní technologií a zmíněnou funkcí v zástavbě. Zvolený materiál PA66 GF35 dodávaný na český trh firmou BASF pod obchodním názvem Ultramid A3wg7 odpovídá technickým požadavkům na bezpečnou funkci výstřiku. Jelikož se jedná o základnu elektronické součásti, hlavní dva požadavky jsou elektroizolační odolnost proti průrazu elektrickým proudem a zároveň dostatečná pevnost výstřiku. Toho je dosaženo 35% plniva ve formě skelných vláken.

Tab. 3 Vlastnosti materiálu [5],[11]

PARAMETRY MATERIÁLU	značka	hodnota	jednotka
Měrná hmotnost	ρ	1,41	g/cm ³
Smrštění	sm	0,25 kolmo 0,65	%
Viskozita	η	124	Pa*s
Absorpce vlhkosti		1.6	%
Modul pružnosti v tahu	E	7000	MPa
Poissonovo číslo	μ	0,43	-
Koeficient tření	f	0,39	-
Měrná tepelná vodivost	aeff	0,088	mm ² /s
Teplota měknutí dle Vicata		250	°C
Faktor schopnosti tečení	Kf	1,7	bar/mm
Koeficient rovnice dráhy toku	m	120	-
Exponent rovnice dráhy toku	n	1,77	-
Faktor navýšení objemu taveniny	Ka	1,23	g/cm ³
PARAMETRY VSTŘIKOVÁNÍ			
Teplota taveniny	TM	290	°C
Teplota formy	TF	90	°C
Střední teplota odformování	TE	120	°C
Vstřikovací tlak	pv	65 až 155	MPa
Dotlak	pd	55 až 105	MPa
Zpětný tlak	pz	4 až 8	MPa
Max. obvodová rychlost šneku	v	0,2	m/s

4.1 Výpočet konstrukčně technologických parametrů [8],[11],[18]

Objem výstřiku dle softwaru Catia :

$$V = 42,301 \text{ cm}^3$$

Hmotnost výstřiku:

$$G = V * \rho \quad (5.1)$$

$$G = 42,301 * 1,41 = 59,644 \text{ g}$$

ρ ...měrná hustota

Velikost vstřikovací dávky jednoho výstřiku:

$$V_D = \frac{G}{K_a} \quad (5.2)$$

$$V_D = \frac{59,644}{1,23} = 48,49 \text{ cm}^3$$

K_a ... faktor navýšení objemu taveniny

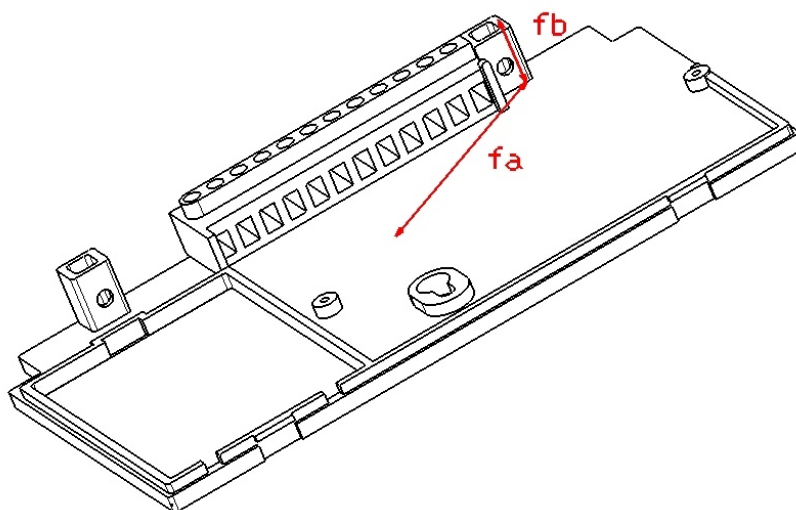
Délka toku taveniny:

$$f = f_a + f_b \quad (5.3)$$

$$f = 72 + 17 = 89 \text{ mm}$$

$$f_a = 72 \text{ mm}$$

$$f_b = 17 \text{ mm}$$



Obr. 30 Délka toku taveniny

Teoretická délka toku taveniny:

$$L = m * s^n \quad (5.4)$$

$$L = 120 * 3^{1,77} = 839 \text{ mm}$$

m ...koeficient rovnice dráhy toku = 120

s ...tloušťka stěny se pohybuje v intervalu 2 až 4 mm, volím 3mm

n ...exponent rovnice dráhy toku = 1,77

$$L = 120 * 3^{1,77} = 839 \text{ mm}$$

Pro eliminaci nedostřiků je třeba dodržet podmínku:

$$L > f \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vstřikovací objem:

$$V_k = 0,7854 * D_k^2 * L \quad (5.5)$$

Z důvodu zvolení horké trysky, neovlivní objem taveniny v rozváděcích kanálcích V_k vstřikovaný objem.

$$V_d = n * (V + V_k) + (2 \text{ až } 3) \quad (5.6)$$

$$V_d = 2 * (42,301 + 0) + (2,5) = 87,102 \text{ cm}^3$$

n ... násobnost formy = 2

Plastikační dávku volím 100 cm^3 .

Doba chlazení:

$$t_{chl} = \frac{s^2}{\Pi^2 * a_{eff}} * \ln \left(\frac{8}{\Pi^2} * \frac{T_M - T_F}{T_E - T_F} \right) \quad (5.7)$$

$$t_{chl} = \frac{3^2}{\Pi^2 * 0,088} * \ln \left(\frac{8}{\Pi^2} * \frac{290 - 90}{120 - 90} \right) = 17,48 \text{ s}$$

T_M ...teplota taveniny = $290 [^{\circ}\text{C}]$

T_F ...teplota formy = $90 [^{\circ}\text{C}]$

T_E ...střední teplota odformování = $120 [^{\circ}\text{C}]$

a_{eff} ...měrná tepelná vodivost = $0,088 [\text{mm}^2/\text{s}]$

Doba vstřikování:

Doba vstřikování je funkcí viskozity materiálu a jeho vstřikovaném objemu. Vstřikovaný objem dvojnásobné formy je $87,102 \text{ cm}^3$ a viskozita materiálu je $124 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Nízkoviskozní materiály = viskozita $\eta < 150 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, středněviskózní materiály = viskozita $\eta = 150 - 300 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, vysokoviskózní materiály = viskozita $\eta > 300 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Dle tab. 4 volím dobu vstřikování $t_v = 1,5 \text{ s}$.

Tab. 4 Parametry vstřikování [11]

Vstřikovaný objem [cm ³] přes – do	Doba vstřikování [s]		
	Nízkoviskózní materiál	Středněviskózní materiál	Vysokoviskózní materiál
1 – 8	0,2 – 0,4	0,25 – 0,5	0,3 – 0,6
8 – 15	0,4 – 0,5	0,5 – 0,6	0,6 – 0,75
15 – 30	0,5 – 0,6	0,6 – 0,75	0,75 – 0,9
30 – 50	0,6 – 0,8	0,75 – 1,0	0,9 – 1,2
50 – 80	0,8 – 1,2	1,0 – 1,5	1,2 – 1,8
80 – 120	1,2 – 1,8	1,5 – 2,2	1,8 – 2,7
120 – 180	1,8 – 2,6	2,2 – 3,2	2,7 – 4,0
180 – 250	2,6 – 3,6	3,2 – 4,5	4,0 – 5,5
250 – 500	3,6 – 4,8	4,5 – 6,0	5,5 – 7,5

Viskozita	Vstřikovaný materiál
nízká	PE-LD, PA 6, PA 6.6, PA 6.10, PA 11, POM, PET, PBT
střední	PS, ABS, PPO, PVC weich, PE-HD, PP, PA 12
vysoká	PVC hart, PMMA, PC

Doba vstřikovacího cyklu:

$$t_c = t_{s1} + t_{s2} + t_v + t_{ch} + t_{s3} + t_{s4} \quad (5.8)$$

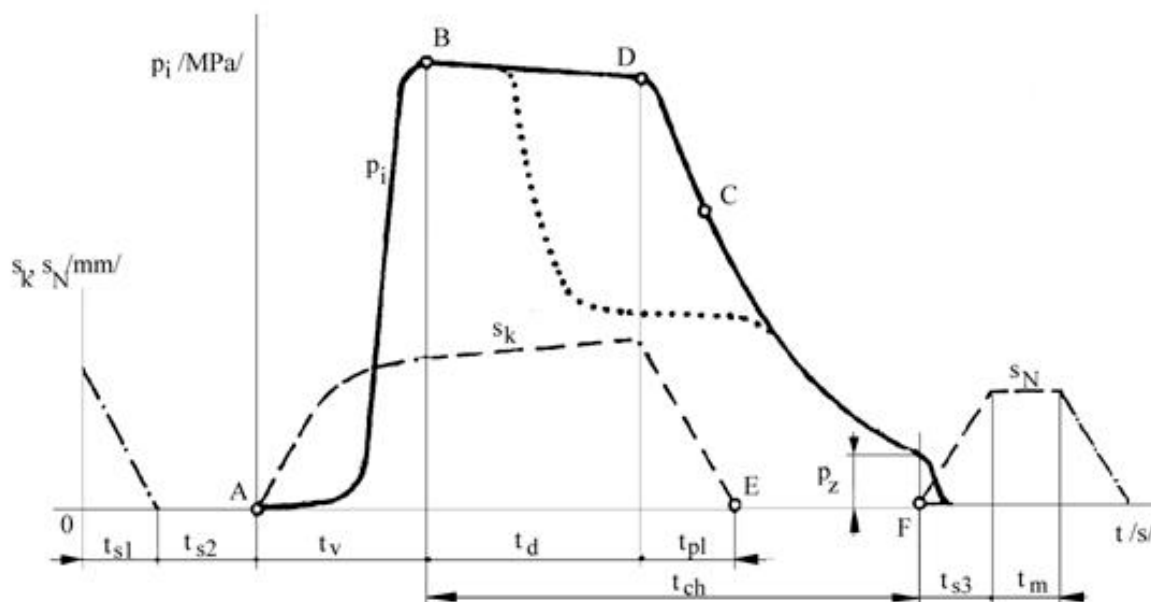
$$t_c = 1,5 + 0 + 1,5 + 17,48 + 1,5 + 0,5 = 22,48 \text{ s} \rightarrow 23 \text{ s}$$

t_{s1} ...uzavření formy: 1,0 –2,0 s \rightarrow 1,5 s

t_{s2} ...přisunutí vstřikovací jednotky \rightarrow horký vtok = 0 s

t_{s3} ...otevření formy a vyhození výstřiku: 1,0 –2,0 s \rightarrow 1,5 s

t_{s4} ...prodleva $t_m = 0,5 \text{ s}$



Obr. 31 Průběh tlaku v čase [14]

Ověření termínované násobnosti:

Z konstrukčního hlediska volím dvojnásobnou formu. Dle zadání ověřím, zda daná násobnost bude postačovat.

$$\eta_T = \frac{N \cdot t_c}{K \cdot \tau_p \cdot 3600} \quad (5.9)$$

$$\eta_T = \frac{500000 \cdot 23}{0,85 \cdot 1920 \cdot 3600} = 1,96 \rightarrow 2$$

τ_p ...termín dodání při zavedení třisměnné pracovní doby

Termín na lise: 4 měsíce * 20 dní * 24 hodin $\rightarrow \tau_p = 1920 \text{ hod}$

N...požadovaný počet kusů $N = 500\,000 \text{ ks}$

K...faktor využití času $K = 0,7 - 0,9 \rightarrow 0,85$

Dvojnásobná forma vyhovuje.

Minimální plastikační kapacita vstřikovacího stroje:

$$C_p \geq \frac{4 \cdot \eta_t \cdot \rho \cdot (V + V_{rk})}{t_c} \quad (5.10)$$

$$C_p \geq \frac{4 \cdot 2 \cdot 1,41 \cdot (42,301 + 0)}{23} = 20,7 \frac{kg}{h} \rightarrow 21 \frac{kg}{h}$$

Minimální vstřikovací kapacita:

$$C_v \geq 1,1 \cdot \eta_t \cdot (V + V_k) \quad (5.11)$$

$$C_v \geq 1,1 \cdot 2 \cdot (42,301 + 0) = 93,1 \text{ cm}^3$$

Minimální plnicí tlak:

$$p_f = 3 \cdot K_f \cdot f \cdot s^{-1,6} \quad (5.12)$$

$$p_f = 3 \cdot 1,7 \cdot 89 \cdot 3^{-1,6} = 78,26 \text{ bar}$$

$$p_v > p_f \\ 650 > 78,26$$

f...délka toku taveniny

K_f...faktor schopnosti tečení taveniny

s...tloušťka stěny

Minimální plnicí tlak vyhovuje podmínce a lze jej tedy použít. Vstřikovací tlak se volí v rozmezí 650 až 1150 bar.

Minimální přidržovací síla:

$$F_p \geq 1,1 \cdot n_T \cdot p_v \cdot (A_D + D_{rk} \cdot L_{rk}) \quad (5.13)$$

$$F_p \geq 1,1 \cdot 2 \cdot 90 \cdot (12\,484 + 0 \cdot 0) = 2\,471\,832 \text{ N} = 2\,472 \text{ kN}$$

p_v...vstřikovací tlak 65 – 155 MPa → volím 90 MPa

A_D...plocha průmětu výstřiku v dělicí rovině = 12 484 mm²

D_{rk}...průměr rozváděcích kanálků

L_{rk}...délka rozváděcích kanálků

Optimální průměr šneku:

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_d} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_d} \quad (5.14)$$

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{100} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{100}$$

$$34,8 < D_s < 48,7$$

V_d...plastikační dávka

D_s...průměr šneku

Průměr šneku se volí z řady: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90 mm.

Volím průměr šneku 45 mm.

Délka dráhy pohybu šneku:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4 \cdot 10^3} \cdot L_s \rightarrow L_s = 1273,23 \cdot \frac{V_d}{D_s^2} \quad (5.15)$$

$$L_s = 1273,23 \cdot \frac{100}{45^2} = 62,87 \text{ mm} \quad (5.16)$$

L_s ...dráha šneku
 V_d ...vstřikovací dávka
 D_s ...průměr šneku

platí:

$$D_s < L_s < 3D_s$$

$$45 < 62,87 < 135$$

Dráha šneku bude 63 mm.

Otáčky šneku při plastikaci:

$$n_s = \frac{60 * 10^3 * v}{D_s * \Pi} \quad (5.17)$$

$$n_s = \frac{60 * 10^3 * 0,2}{45 * \Pi} = 84,9 \text{ ot} * \text{min}^{-1} \rightarrow 85 \text{ ot} * \text{min}^{-1}$$

D_s ...průměr šneku
 v ...max. obvodová rychlost šneku = $0,2 \text{ m} * \text{s}^{-1}$

Vstřikovací rychlost:

$$v_s = \frac{V_d}{t_v} \quad (5.18)$$

$$v_s = \frac{100}{1,5} = 66,66 \text{ cm}^3 * \text{s}^{-1} \rightarrow 67 \text{ cm}^3 * \text{s}^{-1}$$

V_d ...vstřikovací dávka
 t_v ...doba vstřikování

Průchod materiálu formou:

$$G' = \frac{3,6 * V_d * \rho}{t_c} \quad (5.19)$$

$$G' = \frac{3,6 * 100 * 1,41}{23} = 22,07 \text{ kg} * \text{hod}^{-1} \rightarrow 22,1 \text{ kg} * \text{hod}^{-1}$$

t_c ...doba cyklu

Teplu vnesené taveninou do formy:

$$Q = G' * \Delta h \quad (5.20)$$

$$Q = 22,1 * 550 = 12\,155 \text{ kJ/hod}$$

G' ...průchod materiálu

Δh ... rozdíl entalpií pro teploty T_E , T_M

Průhyb formovací desky vyhazovací strany

$$y = \frac{F_c * L^3}{48 * E * J} \quad (5.21)$$

F_c ...celková síla [N]

E ...modul pružnosti [MPa]

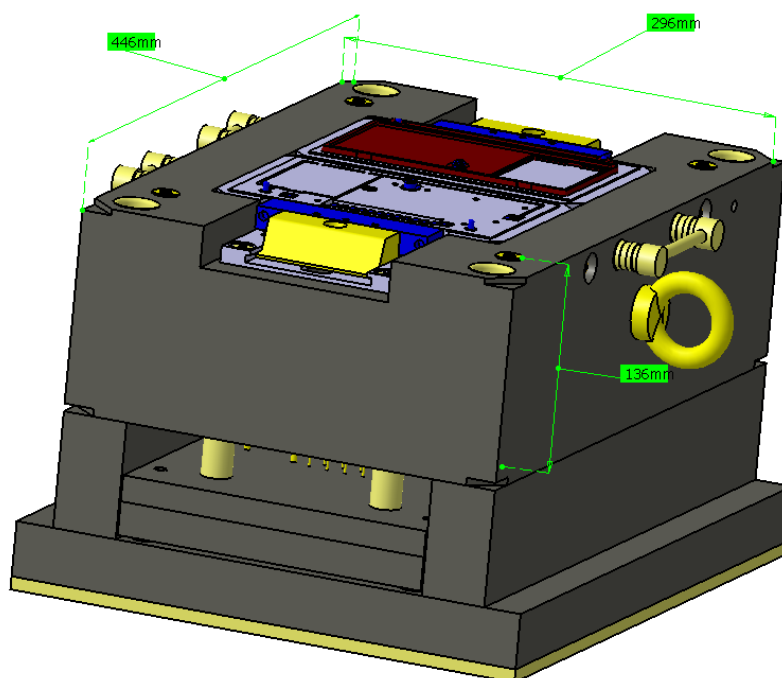
J ...kvadratický moment průřezu [mm^4]

$$F_c = A_D * p_v = 2 * 12\,484 * 90 = 2\,247\,120 \text{ N}$$

$$J = \frac{b * h^3}{12} = \frac{446 * 106^3}{12} = 44\,266\,094,67 \text{ mm}^4$$

$$y = \frac{F_c * L^3}{48 * E * J} = \frac{2\,247\,120 * 210^3}{48 * 2,1 * 10^5 * 44\,266\,094,67} = 0,046mm$$

Volba formovací desky Hasco K20 o rozměrech 296x446x136mm je vyhovující. Vypočítaný průhyb z čisté tloušťky 106 mm bude ještě menší, neboť je ve výpočtu zanedbáno vlivu kruhových rozpěrek a předpětí v upínací desce, která je před montáží prohnutá v patřičném směru. Tyto parametry lze zanést do pevnostní analýzy, pokud je tato softwarová podpora k dispozici. Variantu se slabší formovací deskou a přídatnou opěrnou deskou jsem zavrhl z ekonomického hlediska. Výroba sólo desky je vždy dražší než větší formovací deska, neboť zhotovení přesných otvorů pro vodící kolíky obnáší více manipulačních a výrobních časů na CNC strojích.



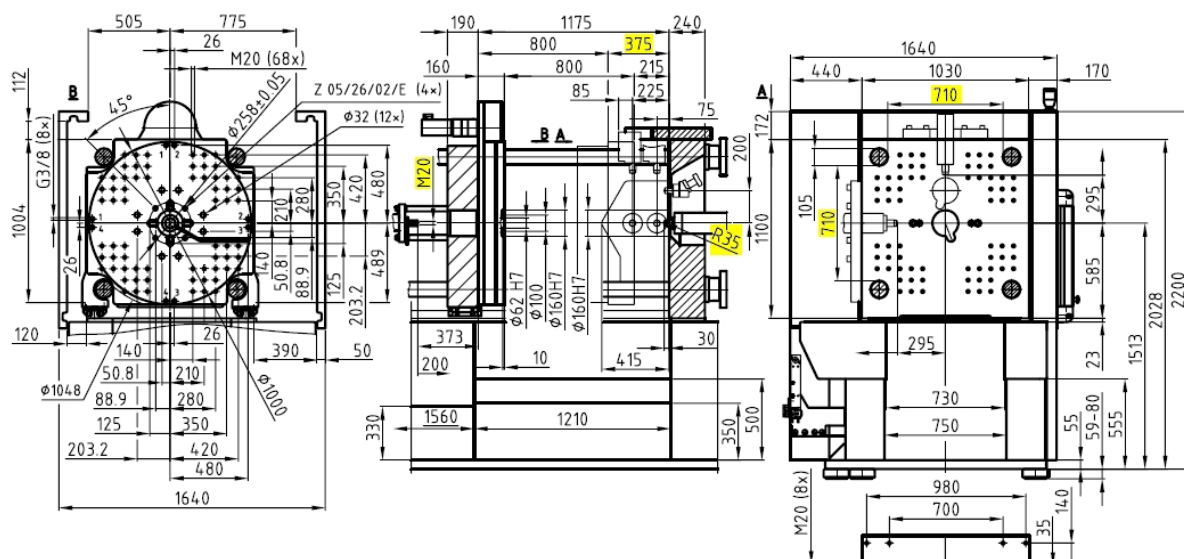
Obr. 32 Rozměry vyhazovací formovací desky

Volba lisu [22]

Na základě níže shrnutých parametrů, viz tab. 5 jsem zvolil vstřikovací lis od firmy Wittmann HM MC 300, viz příloha 3. Dále jsem konstruoval středící kroužky, viz parametry obr. 33.

Tab. 5 Volba vstřikovacího lisu

	<i>výpočet/konstrukce</i>	<i>lis HM MC 300</i>	<i>jednotky</i>
<i>uzavírací síla</i>	<i>2472</i>	<i>3000</i>	<i>kN</i>
<i>rozměr mezi sloupky</i>	<i>296x446</i>	<i>710x710</i>	<i>mm</i>
<i>Min. výška formy</i>	<i>422</i>	<i>375</i>	<i>mm</i>
<i>průměr šneku</i>	<i>45</i>	<i>45</i>	<i>mm</i>
<i>vstřikovací dávka</i>	<i>100</i>	<i>398</i>	<i>cm³</i>
<i>vstřikovací tlak</i>	<i>900</i>	<i>2490</i>	<i>bar</i>
<i>plastikační kapacita</i>	<i>21</i>	<i>117</i>	<i>kg/h</i>
<i>ovládání vyhazovačů</i>	<i>M20</i>	<i>M20</i>	<i>mm</i>
<i>rádius trysky</i>	<i>R35</i>	<i>R35</i>	<i>mm</i>



Obr. 33 Základní rozměry vstřik. lisu [59]

4.2 Návrh konstrukčního uspořádání formy

Při navrhování formy jsem se snažil použít co nejvíce normálií, které nabízí široká škála firem. Převážně jsem využil katalogu s 3D daty od firmy HASCO. Toto stavebnicové řešení umožňuje konstruktérovi snadno a rychle navrhnout proporce formy s jasnou představou o ceně, která je podepřena cenami jednotlivých dílů dle katalogu, viz obr. 34.

Při návrhu rámu formy jsem zvolil normálie typu K. Tyto desky již mají zhotovené otvory pro vodící pouzdra a kolíky a dále obsahují závity pro montáž desek k sobě. Při volbě tohoto řešení generuje HASCO katalog 3D data formy, kde automaticky volí příslušné vodící sloupky, pouzdra a výše uvedené montážní šrouby, což zefektivňuje rychlost návrhu.

K20 Formovací/tvarová deska /296x446/ Upínací deska, kruhová, licující/ materiál

Zpět

Přerušení

Hilfe

Výrobová informace

Změnit velikost nástroje

Typy desek *

Materiály *

... s Zvláštní

b1 296,00

b2 244,00

b3 244,00

d1 30,00

d2 36,00

d3 12,00

I1 446,00

I2 394,00

I3 324,00

t 18,00

t1 25,00

t2 6,30

selection: K20/296x446x136/1.1730 -> 561,73 EURO (EUR)

Δ	Číslo	... s	1.1730	1.2162	1.2764	1.2767	1.2083	1.2085	1.2311	1.2312	Toolox 33	Toolox 44	1.
3	K20/296x446x46/	46	267,03	352,10		500,67	522,89	503,34	361,57	350,92	350,92		
4	K20/296x446x56/	56	304,85	402,92		579,32	608,36	586,06	415,91	401,73	401,73		
5	K20/296x446x66/	66	341,48	456,08		655,20	689,88	666,39	470,26	454,91	454,91		
6	K20/296x446x76/	76	379,28	508,08		729,26	768,13	745,56	524,61	506,89	506,89		
7	K20/296x446x86/	86	415,91	560,06		802,05	843,75	828,27	577,77	557,69	557,69		
8	K20/296x446x96/	96	452,54	612,06		873,74	917,38	910,99	630,95	609,69	609,69		
9	K20/296x446x116/	116	524,61	712,48		1013,52	1061,36	1065,76	738,47	710,12	710,12		
10	K20/296x446x136/	136	561,73					1173,26	799,46	762,34			

Obr. 34 Katalog HASCO

4.2.1 Volba materiálů částí formy [18],[21]

Při výše uvedeném stavebnicovém řešení návrhu formy se nabízí konstruktérovi volba materiálů vodících sloupků, pouzder, spojovacích materiálů a válcových vyhazovačů. Volbu jejich materiálů provádí výrobce normálií, který zaručí správnou funkci proti sobě se pohybujících součásti. Avšak při nákupu samotných desek si lze vybrat ze široké škály materiálů, viz obr. 34. Při jejich volbě se vychází z provozních podmínek formy. Zvláště z její plánované životnosti udávané v počtu zdvihů. Dále se zohledňuje vstřikovací tlak a teplotní cyklus v průběhu vstřikování.

Pro desky jsem zvolil nejlevnější, avšak postačující materiál 1.1730 (dle ČSN 19 083) z katalogu HASCO, jehož vlastnosti jsou shrnuty v tab. 6. U vstřikovacích forem se uvažuje statické namáhání desek. Cyklickému namáhání desek, které by nastalo při zatěžování tvarové dutiny vstřikovacím tlakem a jeho pominutím po otevření formy, se zabráňuje předpružením upínací desky pohyblivé (vyhazovací) části formy. Toto předpětí je přes rozpěrky přeneseno do formovací desky. Během zatížení tvarové dutiny tak dochází k vyrovnání napětí uvnitř desek, které se blíží k nule. Tento princip je totožný i pro variantu formy s opěrnou deskou mezi upínací deskou a rozpěrkami.

Materiál tvarových vložek a jejich jader jsem zvolil kvalitnější a široce využívaný materiál 1.2343 (dle ČSN 19 552), jehož vlastnosti jsou shrnuty v tab. 7. Zejména je třeba počítat s abrazivním opotřebením vysokého technického lesku povrchu tvarových vložek v důsledku použití plniva ve formě skelných vláken. Tento jev se navíc děje za cyklické změny teploty v závislosti na čase vstřikovacího cyklu. Materiál vložky je zatížen vyšší teplotou při plnění dutiny, kdy při špatném odvodu tepla může vznikat dieselekt, který zapálí vstřikovaný materiál, který se adhezí spojí s vložkou. Následné ochlazování vložky a výstřiku kapalným médiem dokoná degradaci materiálu. Proto je třeba tomuto jevu předcházet a volit tak osvědčené a kvalitní materiály.

Tab. 6 Materiál desek [21]

Desky formy	Materiál 1.1730
Charakteristika	Ocel s dobrou obrobitelností a stejnosměrností vlastností.
Obvyklé použití	Ruční nástroje (kleště, šroubováky, sekery, kovářské nářadí), polnohospodářské nářadí, části hospodářských strojů, pomocné části lisovacích nástrojů, upínací a základové desky.
Pevnost po zušlechtní	1080 - 1270 MPa
Tvrdost po popuštění	až 57 HRC

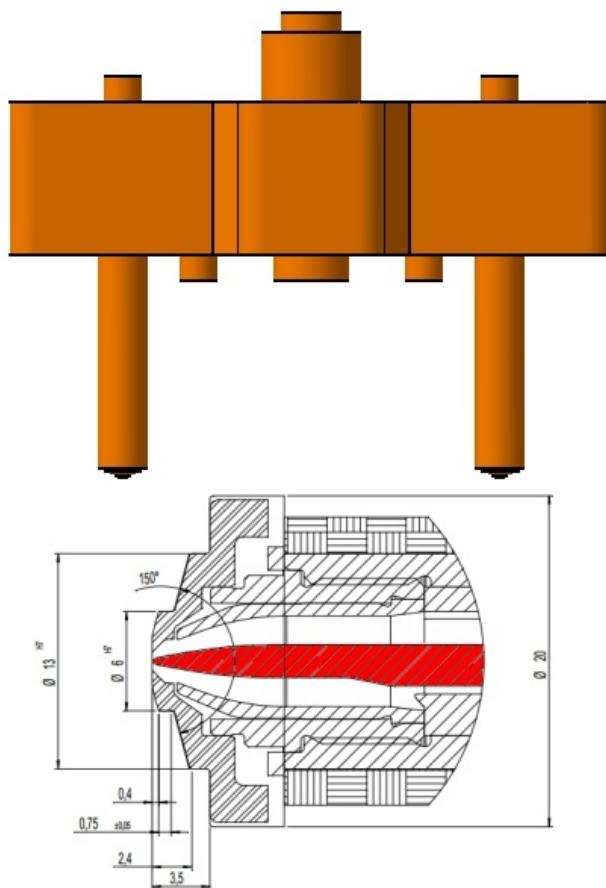
Tab. 7 Materiál vložek [21]

Tvarové vložky a jejich jádra	Materiál 1.2343
Charakteristika	Ocel kalitelná v oleji a na vzduchu, vhodná pro nástroje chlazené vodou.
Obvyklé použití	Velmi namáhané nástroje pro práci za tepla jako lisovací trny a matrice, nástroje pro výrobu šroubů a matic za tepla, nástroje pro tlakové lití, lisovací nářadí, vložky zápustek, nože pro stříhání za tepla.
Pevnost po zušlechtní	1200 - 1600 MPa
Tvrdost po popuštění	až 54 HRC

4.2.2 Volba horké trysky [11], [20]

S ohledem na objem vyráběné série jsem zvolil horkou trysku s dvěma vyústěními přímo na díl s roztečí 150 mm poptanou u firmy Synventive molding solutions s.r.o. Její cena činí 2 326 EUR, viz příloha 2. Cena trysky je vykompenzována zabráněním finančních ztrát při použití studeného vtokového systému, u kterého by docházelo k vyhození zatuhlého vtokového kůlu při každém cyklu. Dále budou ušetřeny finance nutné k pořízení třídeskového studeného vtokového systému.

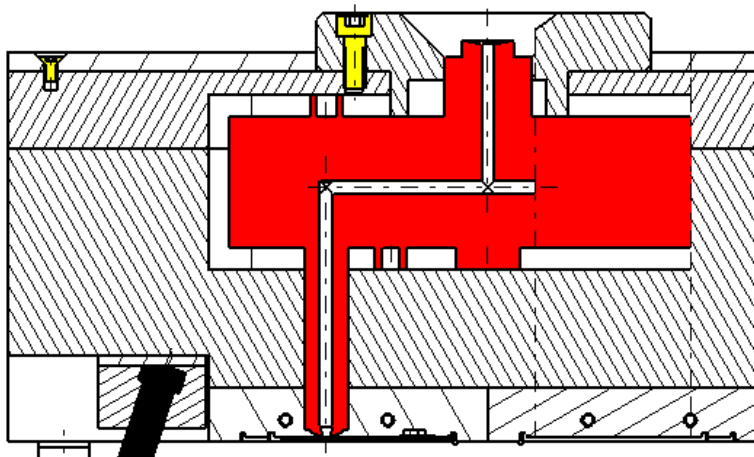
Poptávka byla provedena dle standartních požadavků na trysky. Jedná se o násobnost formy, vstřikovaný materiál, vstřikovací tlak, hmotnost jednoho výstřiku. S ohledem na plněný materiál 35% skelnými vlákny bylo nutné zvolit ústí větší jak 1,5mm. V tomto konkrétním případě se jedná 3mm. Tryska je také doplněna o tzv. torpédo. Torpédo je červený díl, viz obr. 35. Je vyrobeno z velmi dobře tepelně vodivého materiálu, který zaručuje stále tekutý stav taveniny u ústí trysky. Pro konstrukci tvarové vložky je důležité dodržet tvrdost vyústěvacích otvorů minimálně 51 HRC.



Obr. 35 Horká tryska

Uložení rozváděcího bloku se řídí zásadou co nejmenší styčné plochy s konstrukčními deskami. Zabráni se tak teplotním ztrátám, které by vedly k odvedení tepla z rozváděcího bloku horké trysky, čímž by mohlo docházet ke ztrátě homogenity taveniny. Nežádoucí by také byla nutnost ochlazovat desky formy. V neposlední řadě by vzrostl elektrický příkon trysky, který by se negativně projevil do nákladů na provoz formy.

Proto je horká tryska vybavena stavěcími dorazy s malou dosedací plochou, které vymezí její polohu. V tomto konkrétním případě bylo využito středícího kroužku s kontaktním mezikružím, které doplní fixaci trysky. Vzniklá vzduchová mezera slouží jako izolační médium, zajišťující optimální provoz horké trysky.



Obr. 36 Uložení bloku horkého vtoku

4.2.3 Návrh temperačních kanálků [10],[18]

V prvotním návrhu temperačních okruhů jsem vyšel z tab. 8, kde jsem pro průměrnou tloušťku stěny výstřiku 3mm zvolil průměr temperačních kanálků 8 mm.

Tab. 8 Průměry temperačních kanálků [18]

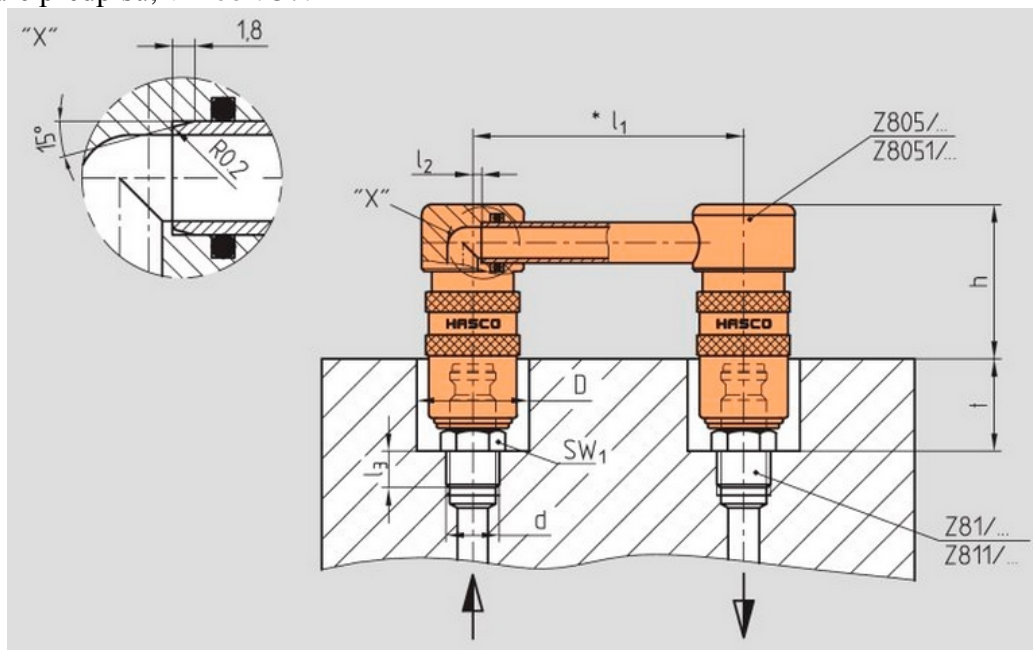
Tloušťka stěny výstřiku [mm]	Průměr temperačních kanálků [mm]
0 - 1	5 - 6
1 - 2	6 - 8
2 - 4	8 - 11
4 - 6	11 - 14

V druhém kroku návrhu jsem volil umístění temperačních kanálků v tvarových vložkách. U pohyblivé (vyhazovací) strany jsem musel kanálky vhodně umístit mezi tvarová jádra a válcové vyhazovače. Abych nezmenšil stěnu vrtání pod únosnou mez, musel jsem zvolit nižší řadu průměrů temperačních kanálků. Zvolil jsem 6 mm, u kterých při výrobě (frézování vodících děr válcových vyhazovačů) nehrozí riziko vyboulení stěny. Po montáži, kde jsou otvory pro vyhazovače a tvarová jádra zaplněna příslušnými kusy, nehrozí již deformace kanálků vlivem tlaku kapaliny.

Průtočný průměr kanálků 6mm bude postačovat. Avšak s ohledem na použité chladicí médium vodu, kterou lze pro teplotu formy $T_F = 90^\circ\text{C}$ ještě použít, je třeba přidat do chladicí vody inhibitor koroze, který spolu s tlakovým okruhem chlazení dovolí v krajních situacích použít vodu jako chladicí médium i nad 100°C .

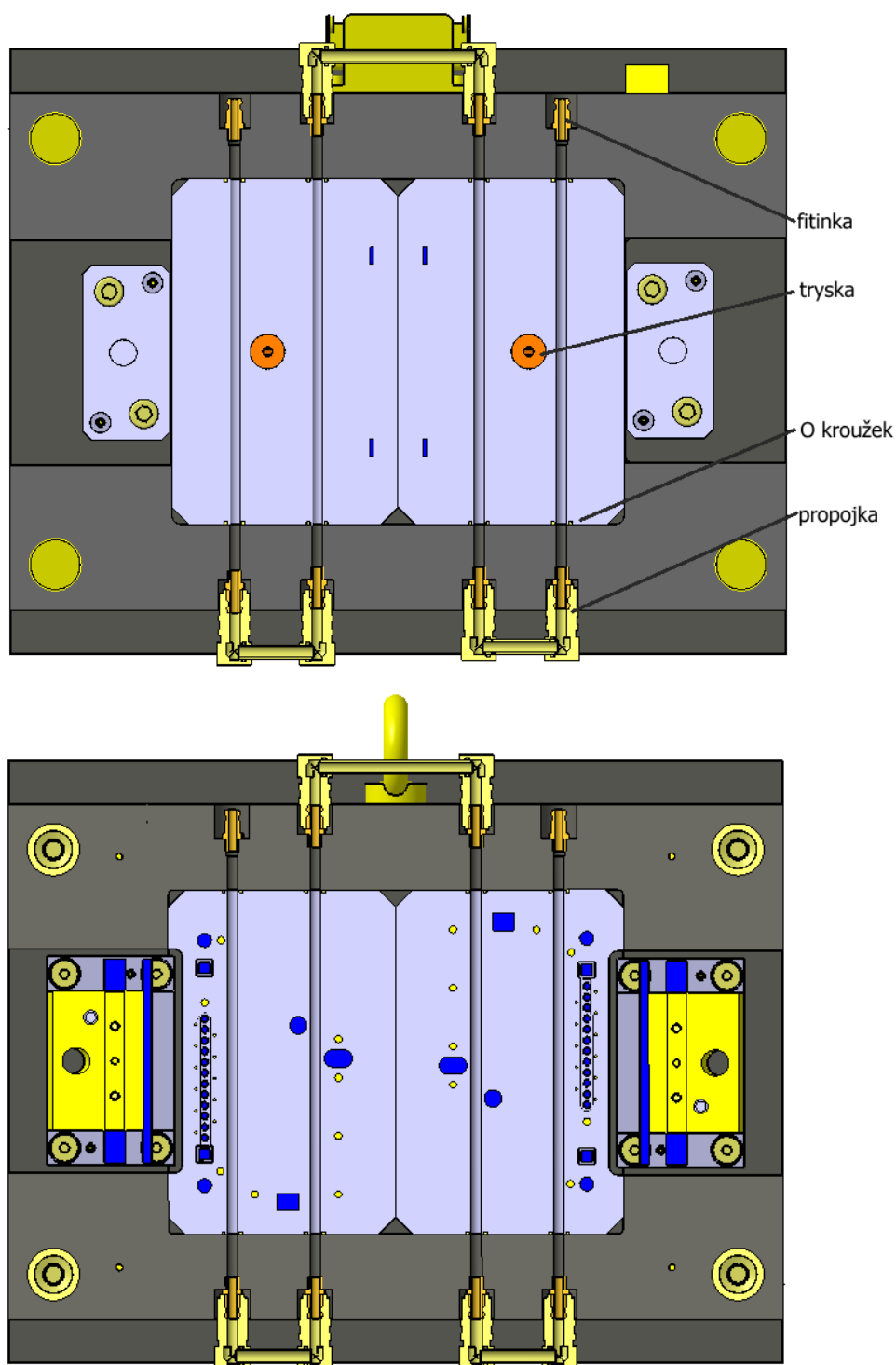
Pokud by voda zůstala bez inhibitoru koroze, docházelo by ke korozi a následnému zarůstání temperačních kanálků, čímž by se zmenšoval průtočný průřez a nedocházelo by k dostatečnému chlazení formy.

Pro pevnou (vstřikovací) vložku jsem použil téhož modelu z důvodu sjednocení normalizovaného příslušenství. Z obr. 38 vyplývá, že jsem temperační okruh sestrojil z vnějších propojek HASCO Z805, které se připojují na rychlospojkami na fitinky HASCO Z81 podle předpisu, viz obr. 37.



Obr. 37 Montáž propojek [58]

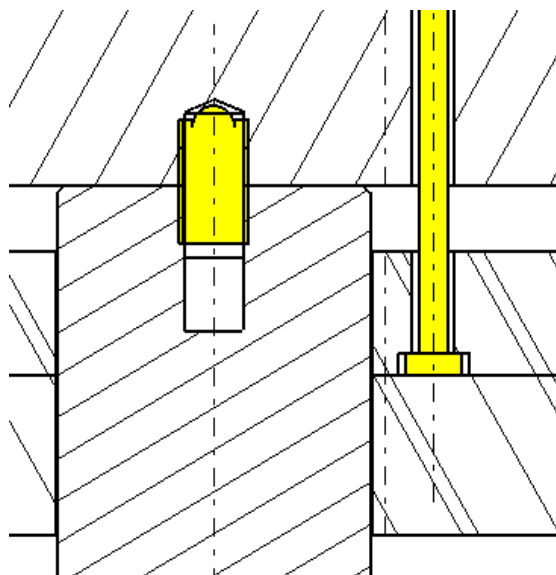
Tento způsob konstrukce zjednodušuje výrobu temperačního okruhu tvarových vložek. Dále umožňuje v krajních případech při odladění měnit pořadí kanálků v temperačním okruhu. V tomto konkrétním případě to však není zcela ideální. Z důvodu malé výšky výstřiku, a tím i malé výšky tvarových vložek, jsem zvolil pro každou stranu formy pouze jeden temperační okruh.



Obr. 38 Temperační okruhy

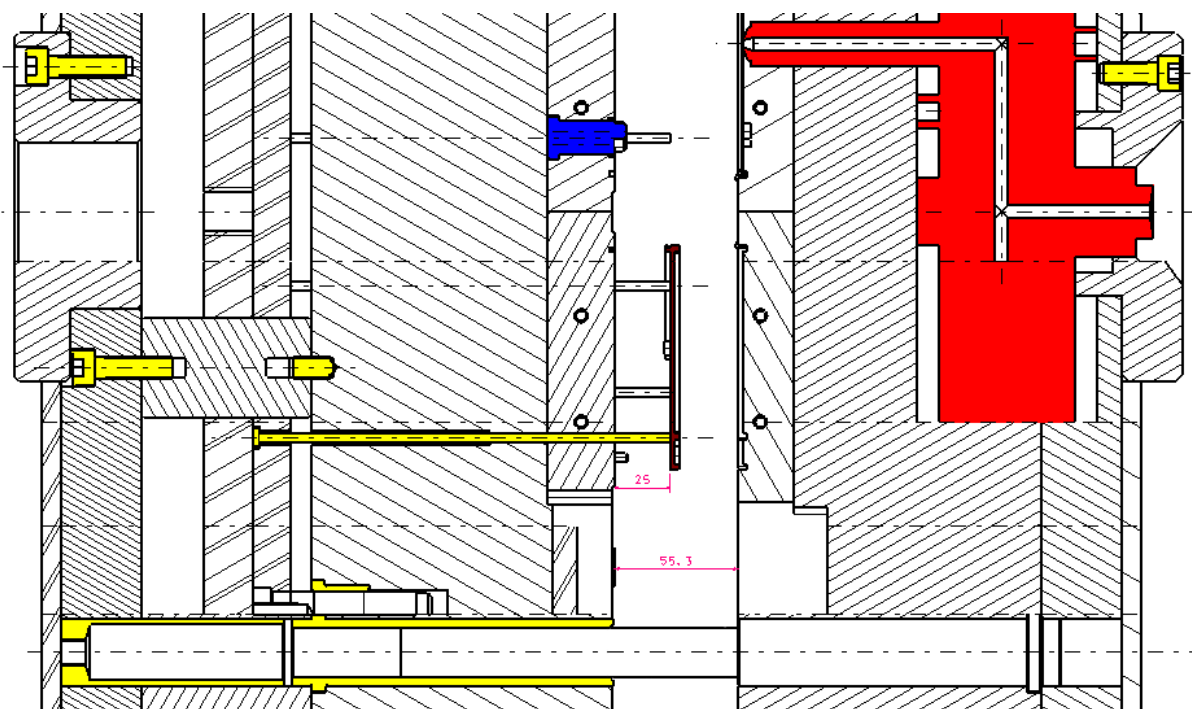
4.2.4 Návrh vyhazovacího systému

Vyhazovací systém jsem navrhl z válcových vyhazovačů HASCO Z40. Jejich uložení v kotevní vyhazovací desce je v radiálním směru plovoucí, viz obr. 39. Přesné vedení je ve tvarové vložce a formovací desce, jejíž část je však odlehčena. Toho je potřeba z důvodu průhybu formovací desky, ve které je vedení válcových vyhazovačů z tohoto důvodu odlehčené. Kdyby bylo vedení a uložení válcových vyhazovačů po celé své délce přesné, mohlo by při průhybu formovací desky dojít k zadření vyhazovacího systému při jeho pohybu. Přesné uložení je nutné v axiálním směru, aby nedocházelo k degradaci tvarové plochy výstřiku při přesahu či nedovření tvarové dutiny čely vyhazovačů. Opěrná deska je opatřena závitem M20 pro připojení vyhazovací tyče.



Obr. 39 Odlehčení vedení vyhazovačů

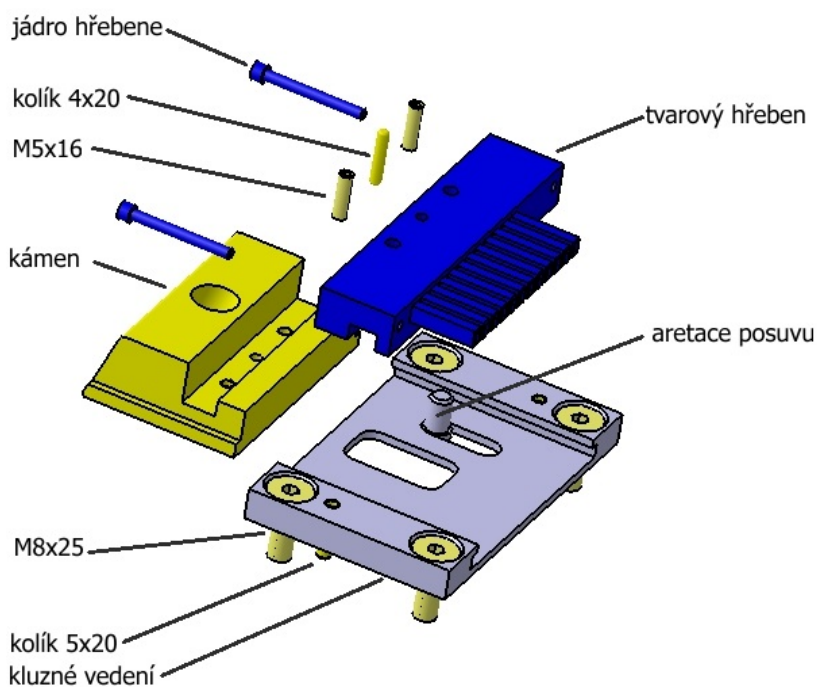
Při provozním otevření formy, viz obr. 40, které činí 55,3 mm a je odvislé od pohybu bočních jader, se může pohyb vyhazovacího systému nastavit na minimálních 25 mm, které jsou odvislé od výšky výstřiku 20 mm a přídavek na průchod. Vyhazování výstřiku se děje na volnou stranu formy. Tedy na tu, která není osazena přívodem elektrické energie a hadicemi temperačního systému. V průběhu odladění formy před sériovou výrobou se nastaví optimalizované rozevření formy a délka pohybu vyhazovacího systému. Také by se případně dodělal skluz, který by kryl propojky temperačního systému. Dále by se řešil manipulátor vyjímání výstřiku podle portfolia lisovny.



Obr. 40 Vyhození výstřiku

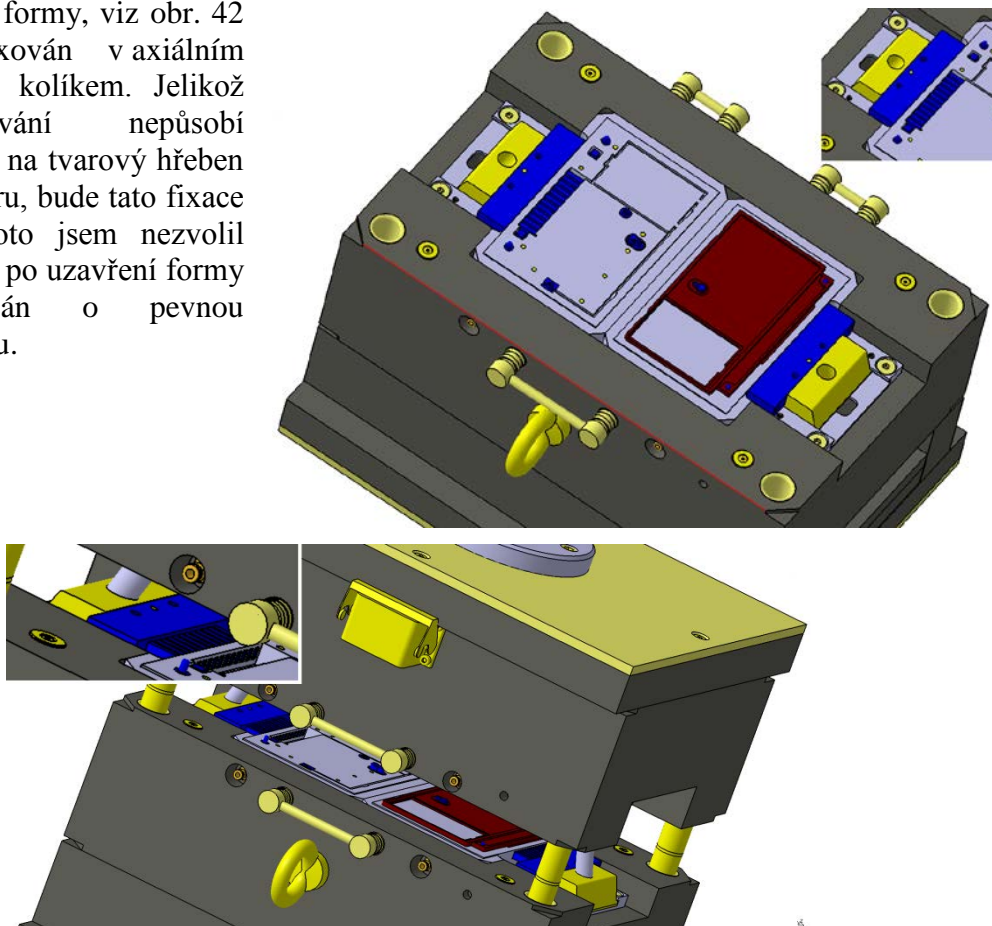
4.2.5 Návrh šikmého vedení bočních jader

Z důvodu otvorů ve výstřiku v kolmém směru na osu formy jsem musel navrhnout boční jádra a jejich pohyb v závislosti na rozevření formy. Jako základ konstrukce byl použit kámen HASCO Z1801 (žlutý), viz obr. 41. Do jeho přesné drážky jsem umístil tvarový hřeben (modrý), který je dále fixován kolíkem a šrouby. Pohyb kamene v kluzném vedení jsem realizoval šikmým kolíkem ukotveným v pevné (vstřikovací) formovací desce. Pokud jsou od sebe obě části formy odděleny, aretace posuvu zabráňuje kamenu ve vysunutí z vedení.



Obr. 41 Boční jádra

Při uzavření formy, viz obr. 42 je kámen fixován v axiálním směru šikmým kolíkem. Jelikož při vstřikování nepůsobí vstřikovací tlak na tvarový hřeben v axiálním směru, bude tato fixace postačovat. Proto jsem nezvolil variantu, kdy je po uzavření formy kámen fixován o pevnou formovací desku.



Obr. 42 Pohyb bočních jader

4.2.6 Konstrukční prvky formy

Jelikož forma s horkým vtokem potřebuje ke své funkci elektrickou energii, je nutné ji unifikovaně přivést k horkému vtoku. K tomuto účelu obsahuje forma zásuvku HASCO Z 1227, která je kompatibilní se zapojením Synventive.

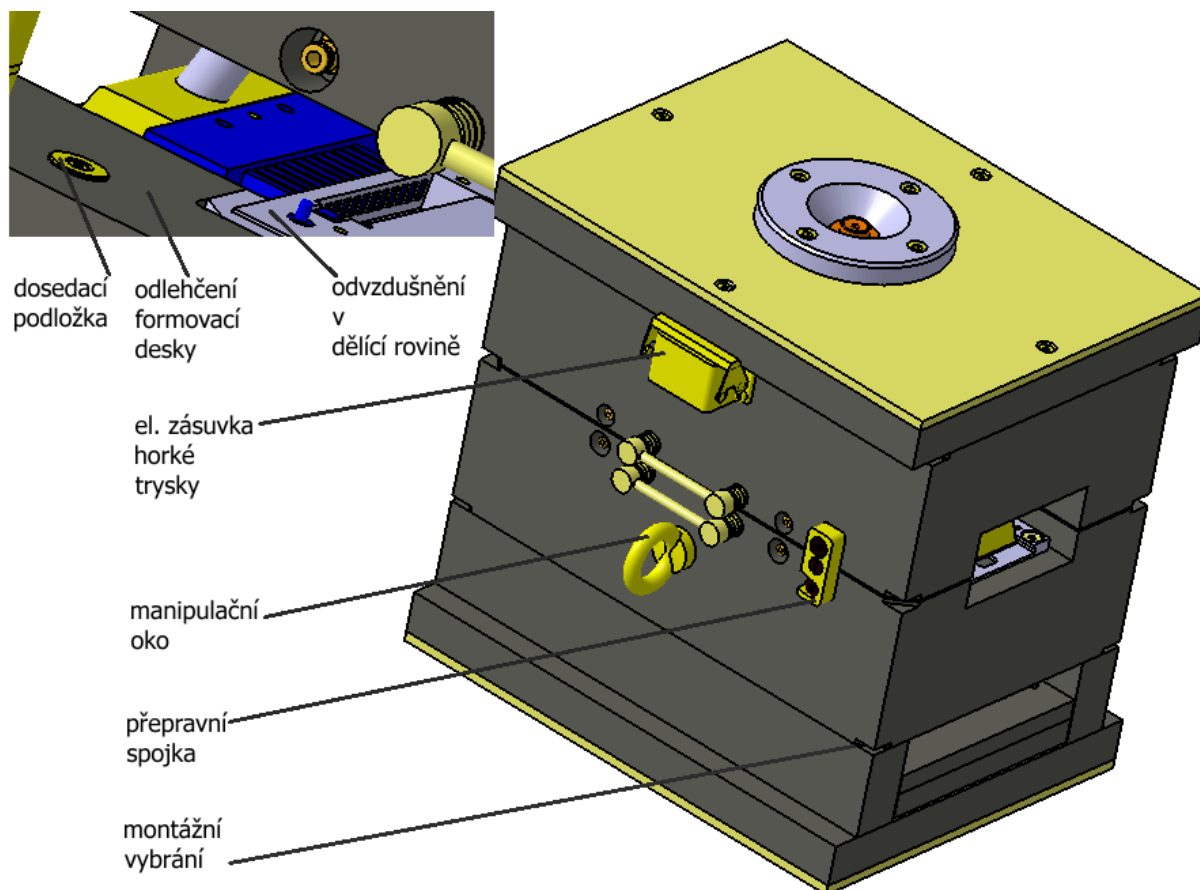
Při uzavření formy dosedají na sebe obě poloviny tvarovou dutinou a čtyřmi dosedacími podložkami HASCO Z55. Ty jsou umístěny na odlehčené formovací desce. Toto odlehčení jsem zvolil 1 mm. Zajistí se tak bezproblémové uzavření dělicí roviny, které by nemuselo nastat vlivem špatně obrobených velkých ploch obou formovacích desek. To by vedlo k zastříknutí do dělicí roviny a degradaci výstřiku.

V prvotním návrhu jsem zvolil odvzdušnění tvarové dutiny kolem tvarových jader volbou tolerance jejich uložení. Pokud by se toto řešení během testovacího vstřikování ukázalo jako nedostačující, byl by v dělicí rovině zhotoven mikrokanálek. Zpravidla se vyrábí na nejvzdálenějších místech od trysky, kde se hromadí nejvíce vzduchu, viz kapitola 5.

Při manipulaci s formou jsou její části zajištěny proti otevření přepravní spojkou HASCO Z73, která se odmontuje při nasazení formy na lis.

Zpravidla se též odstraní manipulační oka sloužící k manipulaci pomocí jeřábu. Jedno zvolené manipulační oko M16 HASCO Z710 je umístěno v těžišti formy vážící cca. 420 kg. Vzhledem k nosnosti oka 700 kg se bezpečnost pohybuje okolo 1.6, což je pro statické zatížení dostačující.

Demontáž jednotlivých částí formy usnadňují vybrání v rozích desek.

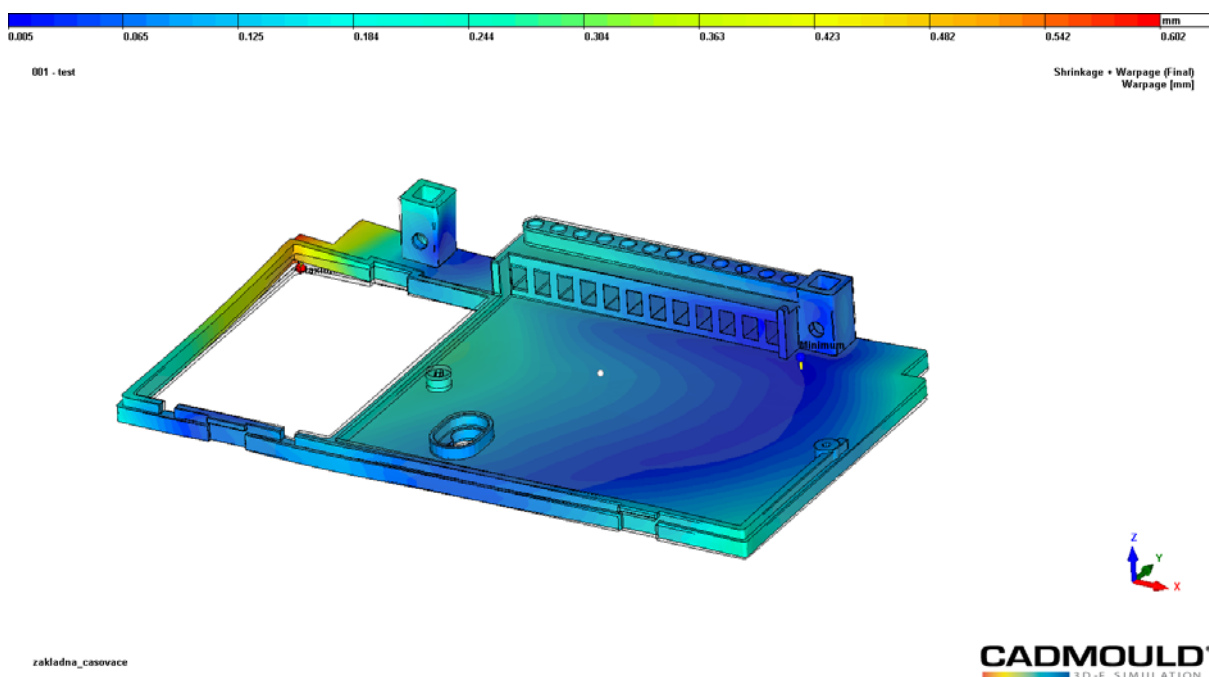


Obr. 43 Konstrukční části formy

5 ANALÝZA TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Prvotní analýza vstřikování se provádí na model výstřiku zvětšený o předpokládané smrštění. Při konstrukci tvarové dutiny formy však může dojít k technologickým odlišnostem mezi tvarem dutiny a požadovaným tvarem od zákazníka. Proto se finální hloubková analýza provádí po konstrukci formy, kdy je porovnáván tvar vyhozeného výstřiku po smrštění s ideálním modelem.

K analýze a odladění technologie vstřikování jsem použil program CADMOULD. Tento software umožňuje simulaci vstřikování bez známé geometrie trysky, či s detailními daty o trysce. V tomto případě bylo použito kompromisu mezi těmito přístupy, kdy se do výpočtu zahrnula geometrie jedné trysky a ne celého rozváděcího bloku. Základní data si program generuje automaticky podle vstřikovaného materiálu. Po této prvotní analýze vyšla nepřijatelná deformace výstřiku, viz obr. 44. Tato deformace byla způsobena nedoplněním daného místa dostatkem materiálu, jak bude vidět dále, nejedná se ale o nejkritičtější místo. Vznikl tak nehomogenní materiál, kde na rozhraních těchto odlišností došlo ke ztrátě geometrické přesnosti vlivem rozdílného pnutí. Jak bude uvedeno dále, je tato stěna nejnáchylnější na špatné odvzdušnění.

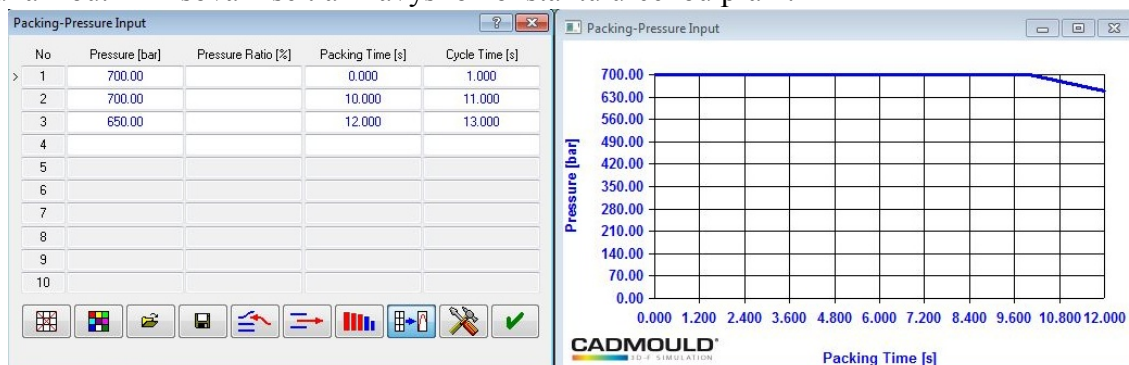


Obr. 44 Deformace výstřiku

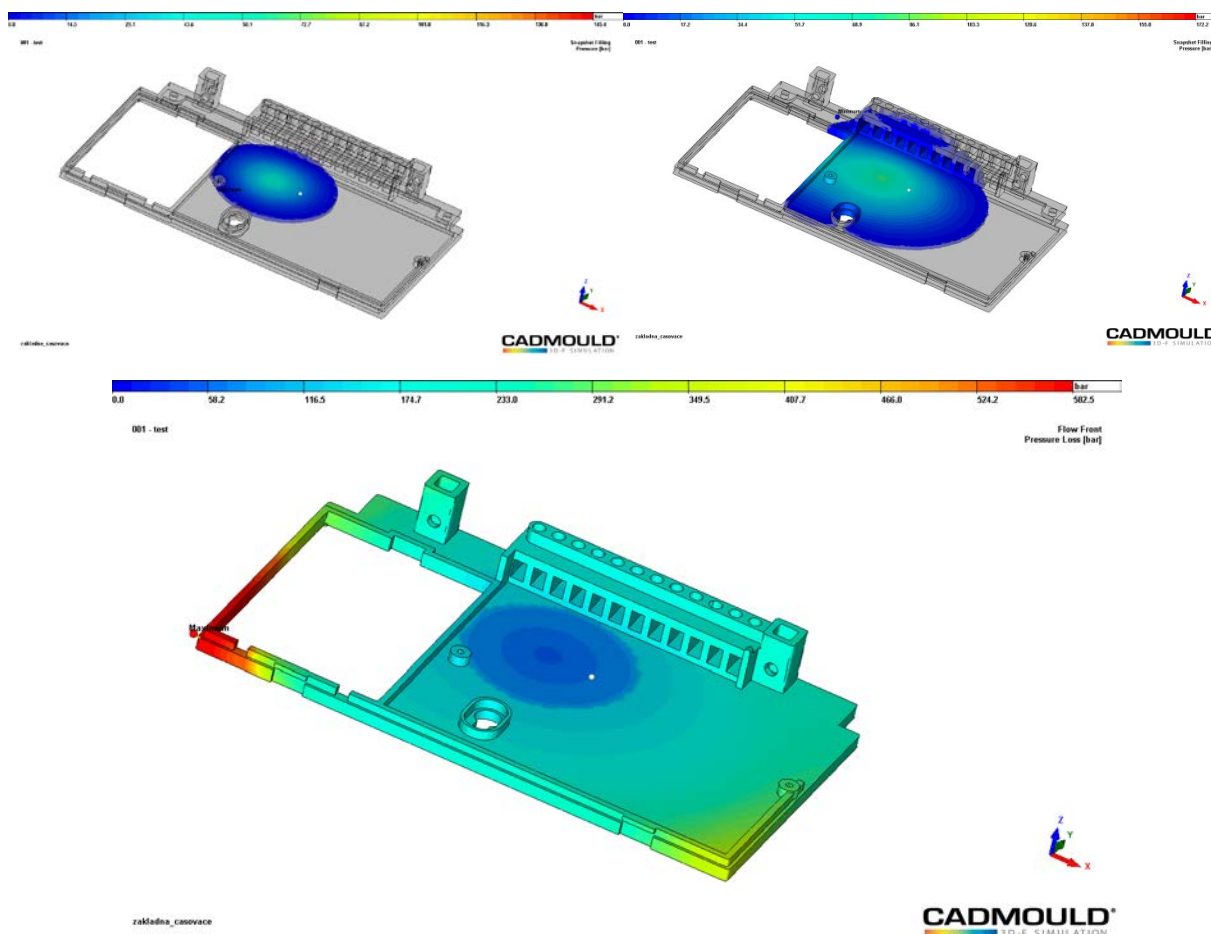
Z tohoto důvodu bylo potřeba upravit některé parametry tak, aby došlo ke zlepšení kvality výstřiku a zároveň nedošlo k výrazné odchylce hodnot od teoretického výpočtu. Toto simulování je možné provádět i fyzicky na lisech. Jejich software umožňuje během ověřovací série provádět obdobné nastavení. K tomuto kroku však není vhodné se uchýlovat z ekonomického hlediska. V první řadě se toto simulování řadí mezi prostroje stroje, jelikož tyto vzorky jsou ověřovací a v případě jejich rozměrové a geometrické správnosti je nelze prodávat. Zákazník je zpravidla požaduje přiložit k uvolňovacímu protokolu do výroby. Druhým faktorem je cena materiálu, který tak přichází vniveč. Proto je ekonomicky výhodné využívat simulačních programů, které minimalizují nutnost změny parametrů na lise, neboť se na lise prakticky navyšuje pouze vstřikovací tlak dle zkušenosti podle tlakových ztrát v rozvodu, který lze simulovat jen obtížně. Druhým faktorem bývá hodnota a doba dotlaku, která se však o mnoho neliší. V analýze se tedy upravují tyto **parametry**:

- **Vstřikovací tlak**

Profil vstřikovacího tlaku, viz obr. 45, byl zvolen 70 MPa s konečným poklesem na 65 MPa. Tyto hodnoty jsou menší než teoreticky zvolený vstřikovací tlak 90 MPa. Je to z důvodu neznalosti přesné geometrie rozvodu, tedy rozváděcího bloku trysky a plastikační komory lisu. Již při této simulaci, ve které byla zahrnuta pouze geometrie jedné trysky, činila ztráta v rozvodu 150 barů! Proto lze tuto konfiguraci analýzy považovat za průkaznou. Při lisování se tlak navýší o konstantu určenou praxí.



Obr. 45 Profil vstřikovacího tlaku



Obr. 46 Tlakové úbytky v průběhu a po vstřikování

Obr. 46 ukazuje nejkritičtější místo z hlediska rozdílu tlaku ve výstřiku v závěrečné fázi technologie. Toto místo tak musí být perfektně odvědušněné, aby nedocházelo k deformaci

výstřiku. Je to také místo výskytu studeného spoje z důvodu spojení proudu taveniny ze dvou proudů.

- **Dotlak**

Hodnota a profil dotlaku určují geometrickou a rozměrovou správnost výstřiku. Čím je vyšší dotlak, tím menší je smrštění. Dále s rostoucí hodnotou dotlaku roste hmotnost výstřiku. Není však vhodné dosahovat vysokých hmotností za každou cenu, protože přesáhneme-li přirozenou hustotu materiálu, vnášíme do něj vnitřní pnutí, které je ve většině případů nežádoucí.

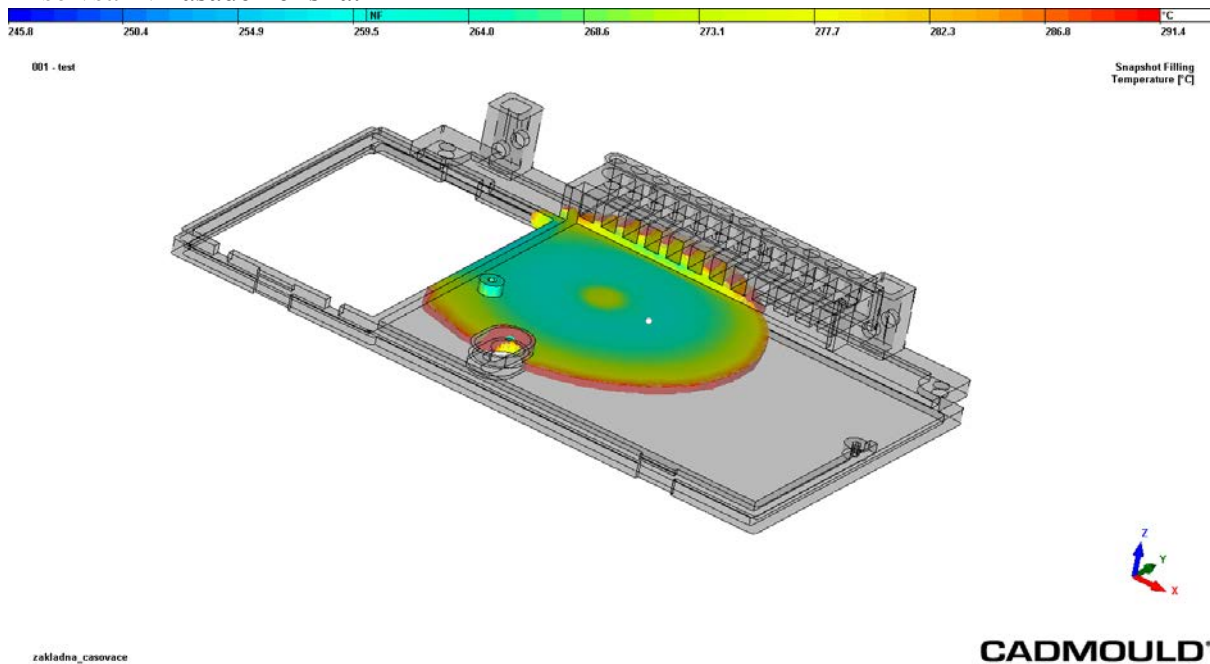
V tomto případě byla hodnota dotlaku zvolena 65 MPa v čase 12 s. Toto nastavení se nebude měnit bez ohledu na zvýšení vstřikovacího tlaku na lise. Bylo tak dosaženo hmotnosti výstřiku 59,1 g z teoretických 59,644 g.

Obr. 47 Nastavení analýzy

Bohužel program CADMOULD neumožňuje vygenerování časového průběhu tlaku v dutině formy, protože nepracuje s bodem přepnutí.

- **Smrštění**

Tabulové smrštění materiálu je 0,25% a 0,65% v kolmém směru. Po provedení výpočtu se zjistila průměrná hodnota smrštění 0,49%. Tato hodnota je stejná ve všech směrech, díky umístění trysky cca. uprostřed výstřiku, což se blíží těžišti výstřiku, viz bílý bod na obr. 48. Toto umístění umožňuje tzv. paprskovité tečení taveniny ověřené při analýze plnění, viz obr. 48 a zabráňuje se tak anizotropii materiálu. Podle této hodnoty smrštění byla upravena tvarová dutina formy. Tím bylo nutné provést opět analýzu, která se však v zásadě neliší.

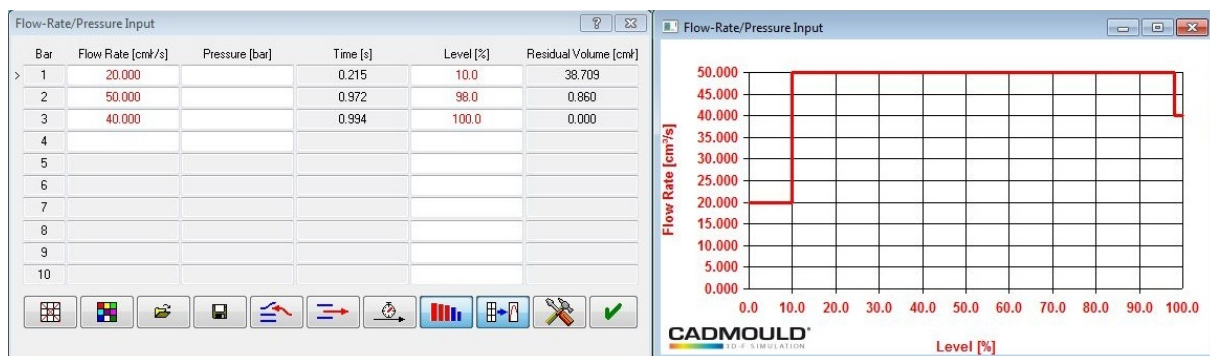


Obr. 48 Paprskovité tečení taveniny

- **Rychlost vstřikování**

Teoretická rychlost vstřikování byla vypočítána $45 \text{ cm}^3/\text{s}$. V analýze byl profil plnění nastaven, viz obr. 49. Toto nastavení aproximuje tuto hodnotu a jeho profilování napomáhá lepšímu plnění dutiny. Lepší zabíhavosti také napomohlo snížení doby vstřikování z 1,5 s na

1 s. Za tento ušetření čas nevzroste viskozita taveniny, čímž se sníží počet studených spojů a bez problému se tak zaplní i složitější partie výstřiku.

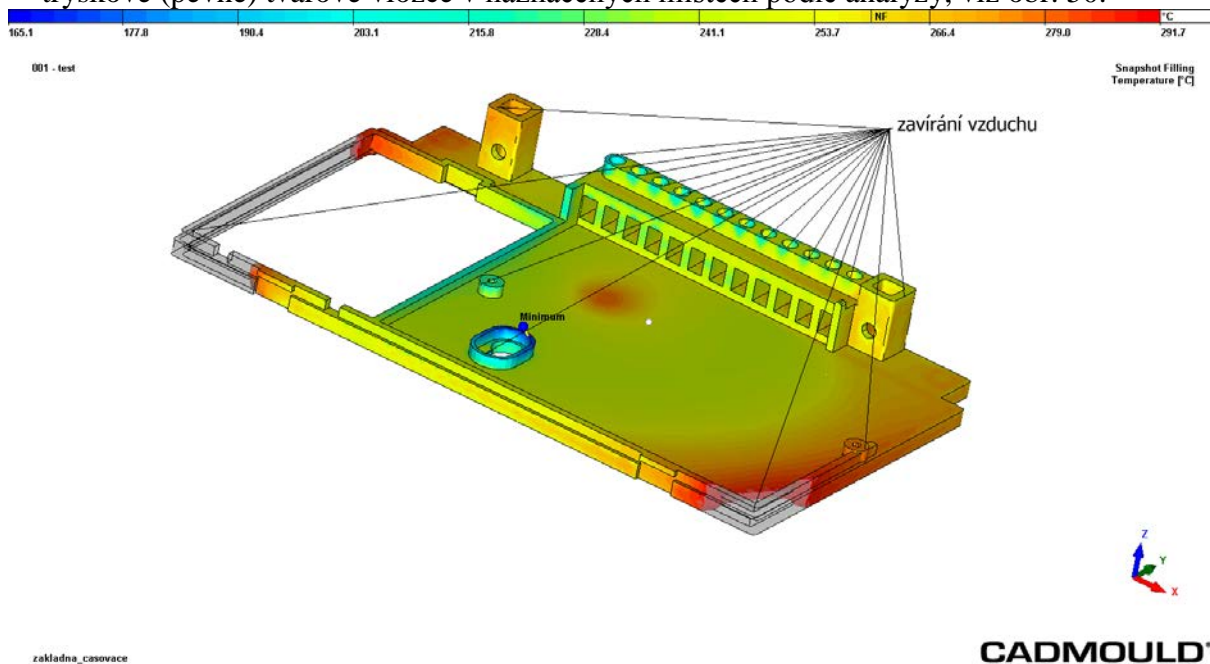


Obr. 49 Profil plnění

- **Odvzdušnění**

Z teplotních, tlakových a plnicích analýz lze jednoznačně potvrdit předpoklad míst, kde bude docházet k uzavírání vzduchu. Jeho neodvedení by znamenalo nedoplnění tvarové dutiny a degradaci výstřiku. Proto je nutné věnovat pozornost odvzdušnění těchto míst.

Technické provedení je realizováno volbou vhodného uložení vyhazovačů. Pro viskozitu taveniny $124 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ použijí suvné uložení H7/g6, které zaručí odvod vzduchu a zároveň ještě nedojde k nežádoucímu zastříknutí. Uložení tvarových jader ve tvarové vložce je zvoleno H7/h6. Každé jádro má v přechodu do vložky po své délce mikrodrážku zhotovenou ručně fortunou. Strojní gravírování by při takto malých rozměrech bylo nákladné. Oproti tomu jsou odvzdušňovací kanálky v dělicí rovině probroušeny. Tyto drážky jsou z důvodu estetiky zvoleny na nepohledové ploše. V tomto případě je to na tryskové (pevné) tvarové vložce v naznačených místech podle analýzy, viz obr. 50.



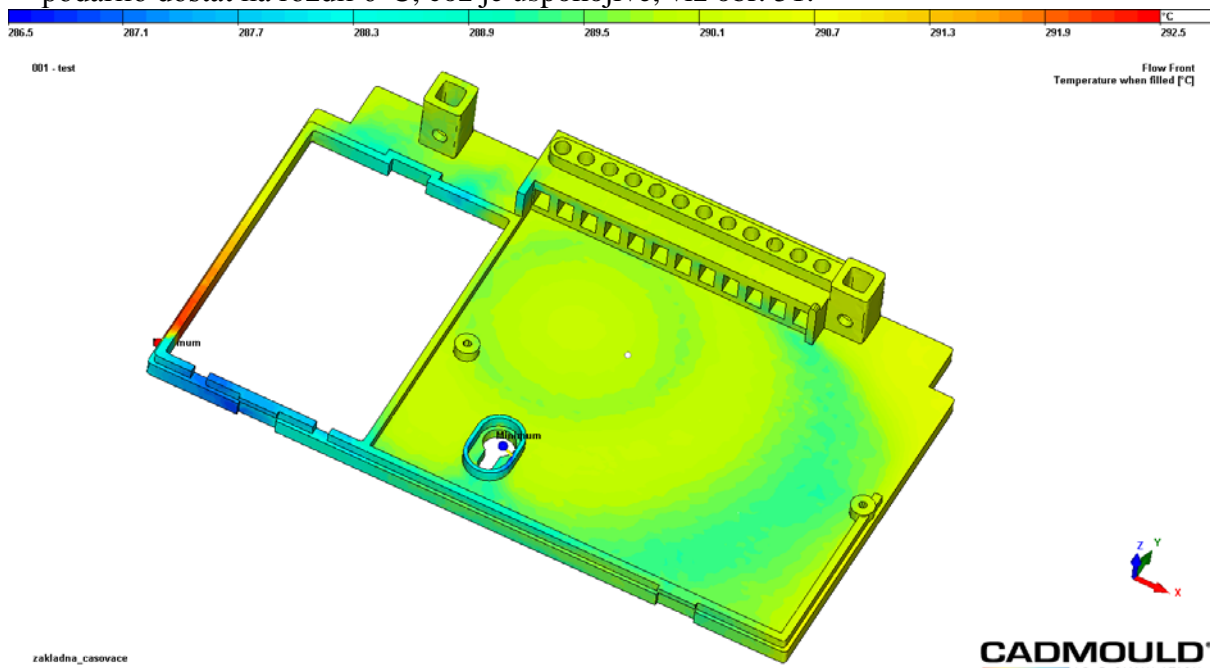
Obr. 50 Kritická místa odvzdušnění

- **Teplota**

Vhodně zvolená kombinace mezi teplotou taveniny a teplotou formy je alfou i omegou procesu vstřikování. Obecně platí, že se vzrůstající teplotou klesá viskozita a zlepšuje se zabíhavost taveniny. Ovšem se vzrůstající teplotou roste hodnota smrštění, což je velmi nežádoucí jev!

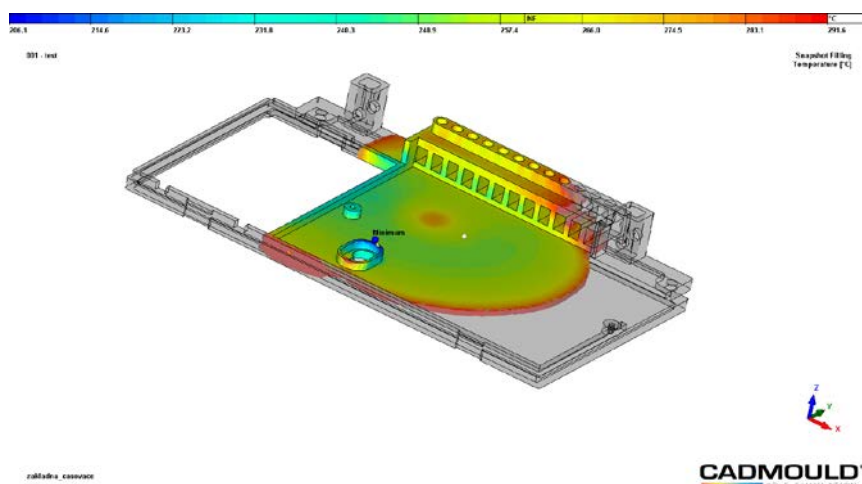
Temperaturu formy jsem zvolil na 90°C z intervalu 80°C až 120°C. Teplota taveniny je předepsána 290°C a její vstřikovací schopnost pro Ultramid končí při 260°C. Z toho vyplývá krátký interval vstřikování, kdy s klesající teplotou roste viskozita a snižují se zabíhavostní vlastnosti. To se potvrdilo při analýze plnicího profilu snížením vstřikovacího času z 1,5 s na 1 s.

Při teplotní analýze nás zejména zajímají úbytky teploty v závěrečné fázi vstřikování, kdy dochází k otevření formy a následnému vyhození výstřiku. Obecně platí, že rozdíl mezi nejteplejším a nejstudenějším místem nesmí být větší než 15°C. V tomto případě se podařilo dostat na rozdíl 6°C, což je uspokojivé, viz obr. 51.



Obr. 51 Teplotní úbytky

Dále je vhodné sledovat šíření plnicí vlny, kdy nejteplejší tavenina by měla být právě na čele plnicí vlny, viz obr. 52. Teplejší ostrůvky za postupující vlnou zpravidla způsobují vznik staženin a propadlin.

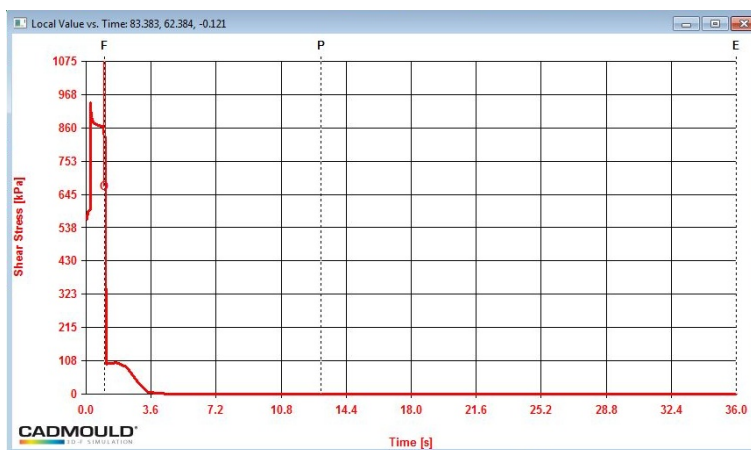


Obr. 52 Postupující plnicí vlna

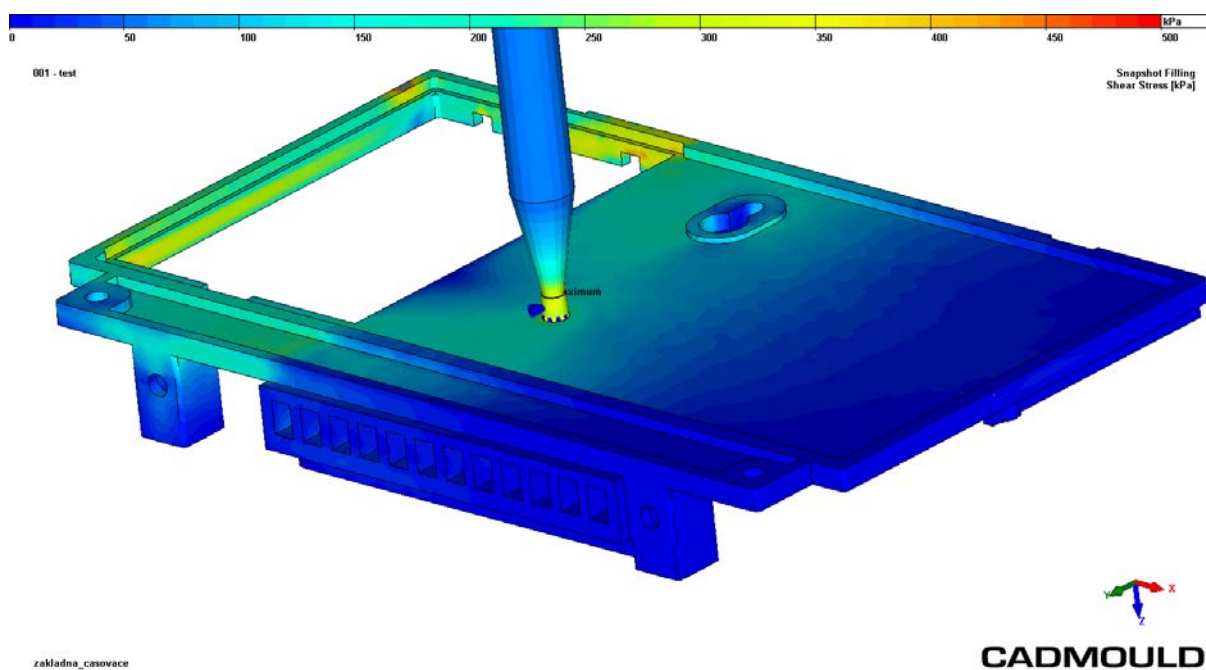
- **Smykové namáhání**

Při procesu vstřikování je také důležité sledovat smykové namáhání materiálu. Pokud by byl materiál vstřikován pod větším tlakem než je přípustné, docházelo by k nepřípustnému posuvu vrstev materiálu mezi sebou, čímž by docházelo k jeho degradaci a ztrácel by tak své dobré vlastnosti. U materiálů plněných aditivu je tento jev markantnější a maximální hodnota smykového namáhání klesá. Z toho důvodu se používají pro plnění materiály trysky s větším průměrem, aby nedocházelo k ohýbání skelných vláken.

Pro Ultramid je maximální přípustná hodnota 500 kPa. Jak vyplývá z obr. 53, není tato hodnota globálně překročena a lze tedy předpokládat, že nedojde k degradaci vlastností materiálu. Ze zkušenosti však vyplývá, že lokální maximum se nachází uvnitř trysky, kde je maximální hodnota zpravidla překročena v krátkém čase, viz obr. 53. Tento jev lze odstranit větším průměrem trysky jak 3 mm. S tím však nastává problém s odstraněním velké čočky z výstřiku, i když se nachází na nepohledové straně. Proto je vždy třeba volit kompromis mezi těmito faktory.



Obr. 53 Smykové namáhání trysky



Obr. 54 Smykové namáhání výstřiku

6 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [6],[11],[20],[21][22]

Technicko ekonomické zhodnocení jsem provedl na základě výpočtu návratnosti investice do pořízení technologie vstřikování plastového dílce základny časovače. Výpočet vychází z kalkulace nákladů na výrobu formy, který se skládá z nákupu normalizovaných dílů a materiálů, viz tab. 9, dále z nákladů na konstrukci a technologii a v neposlední řadě z ceny obrábění a dokončovacích operací. Následuje kalkulace ceny výroby jednoho dílce. Z těchto dvou hodnot je vypočítána návratnost. Vzhledem k neznalosti ceny režie a hodinových sazeb nástrojárny, lisovny i konstrukce bylo třeba do výpočtu zahrnout teoretické hodnoty.

Tab. 9 Ceny dílů, přepočet 2.4.2014_1EUR=27,45 Kč [6]

DESKY	název	ks	cena/kus [EUR]
K10/296x446x36	upínací	2	250,5
K20/296x446x136	formovací	2	561,73
K45/296x446x76	rozpěrky	1	108,12
K65/75/296x446	vyhazovací svazek	1	242,18
Z121/246 446/7/90	izolační	2	118,16
NORMÁLIE			
šrouby		celkem	52,34
Z40_4x200	vyhazovač	16	4,32
Z40_1,5x200	vyhazovač	22	4,77
Z571_32x76	kruhová rozpěrka	4	8,92
Z1801_25x80x55	kámen posuvu	2	195,63
kolíky		celkem	17,38
Z805_9_125	propojka hydr.	6	15,67
Z81_8x6	fitinka	4	1,09
Z55_18x3	podložka	4	1,58
vodící sestava	pouzdra, sloupky	4	31,68
vedení vyhazovačů	pouzdra, sloupky	4	19,46
Z710/16	oko	1	2,92
Z1227_16_4	zásuvka	1	54,85
Z73_16_25_63	spojka	1	31,05
TRYSKA	Synventive	1	2326
MATERIÁL	dle Bolzano.cz	celkem	87
		CELKEM	5 093,08
		CELKEM [Kč]	139 806

Tab. 10 Náklady na výrobu formy

Odhad celkových nákladů na výrobu formy se vyšplhal na cenu 529 806 Kč, viz tab. 10.

NÁKLADY	cena
konstrukce, technologie	100 000
materiál	139 806
nástrojárna – strojní časy	290 000
celkem Kč	529 806

Náklady na výrobu formy

$$N_f = 100000 + 139806 + 290000 = 529\,806 \text{ Kč} \quad (7.1)$$

Tab. 11 Hodnoty pro výpočet [5],[22]

POLOŽKA	značka	hodnota	jednotka
cena materiálu	A_m	85	Kč/kg
cena elektrické energie	E_E	5,50	Kč/kWh
počet kusů v sérii	N	500 000	ks
čas vstřikovacího cyklu	t_c	22,48	s
cena stroje	A	1 859 000	Kč
příkon stroje	P_s	55	kW
koeficient opotřebení stroje	K_1	0,8	-
hrubá mzda obsluhy	M_D	120	Kč/hod
návratnost stroje	R_s	7	rok
hmotnost výstřiku	G	59,64	g
násobnost formy	n_T	2	-

Cena materiálu

Jednoho výstřiku

$$N_m = A_m * G \quad (7.2)$$

$$N_m = 85 * 0,05964 = 5,0694 \text{ Kč}$$

Cena materiálu celé série

$$N_T = N_m * N \quad (7.3)$$

$$N_T = 5,07 * 500\,000 = 2\,534\,700 \text{ Kč}$$

Náklady provozu stroje

Hodinové náklady provozu stroje

$$N_s = \frac{P_s * E_E}{K_1} \quad (7.4)$$

$$N_s = \frac{55 * 5,5}{0,8} = 378,125 \text{ Kč}$$

Čas celé série

$$t_s = \frac{N * t_c * K_z}{3600 * n_t * K_p} \quad (7.5)$$

$$t_s = \frac{500000 * 22,48 * 1}{3600 * 2 * 0,8} = 1997 \text{ hod}$$

K_z ...koeficient zmetkovitosti = 1

K_p ...koeficient využití času = 0,8

Cena provozu stroje za celou sérii

$$N_{pr} = N_s * t_s \quad (7.6)$$

$$N_{pr} = 378,125 * 1997 = 755\,116 \text{ Kč}$$

Odpisové náklady stroje

$$N_o = \frac{A}{6 \text{ let}} \quad (7.7)$$

$$N_o = \frac{1859000}{6 * 12 * 20 * 24} = 54 \text{ Kč/hod}$$

Odpisové náklady za celou sérii

$$N_{oc} = N_o * t_s \quad (7.8)$$

$$N_{oc} = 54 * 1997 = 107\,837 \text{ Kč}$$

Celkové náklady provozu stroje včetně obsluhy

Hrubá mzda dělníka za celou sérii

$$N_d = t_c * M_d \quad (7.7)$$

$$N_d = 1997 * 120 = 239\,640 \text{ Kč}$$

$$N_{cs} = N_{pr} + N_{oc} + N_d \quad (7.8)$$

$$N_{cs} = 755\,116 + 107\,837 + 239\,640 = 1\,102\,592 \text{ Kč}$$

Celkové náklady celé série

$$N_A = N_T + N_{cs} + N_f \quad (7.9)$$

$$N_A = 2\,534\,700 + 1\,102\,592 + 529\,806 = \mathbf{4\,167\,098 \text{ Kč}}$$

Celková cena jednoho výlisku

$$N_v = \frac{N_A}{N} \quad (7.10)$$

$$N_v = \frac{4167098}{500000} = \mathbf{8,34 \text{ Kč}}$$

Návratnost investice do výroby formy

Celkovou návratnost investice do formy lze spočítat na základě čistého výdělku. Pokud budu uvažovat čistý zisk z jednoho výlisku $Z = 20 \text{ Kč}$, tedy prodám ho za 28,34 plus daň, lze vypočítat návratnost dle vzorce 7.11.

$$N_{NF} = \frac{N_f}{Z} \quad (7.11)$$

$$N_{NF} = \frac{529806}{20} = 26\,491 \text{ ks}$$

Investice do formy se tak vrátí po 26 491 kusech, z celkových 500 000 kusů. Z toho lze usoudit, že dané řešení je rentabilní, viz (7.11) .

7 ZÁVĚRY

Pro zvládnutí funkčního návrhu vstřikovací formy je nutné vycházet z teoretických znalostí problematiky zpracování plastů. Každý výstřik, byť ze stejného materiálu, se v různých zástavbách chová jinak, proto je důležité znát portfolio použití a vlastností daného materiálu. K tomuto účelu lze doporučit databázi <http://www.campusplastics.com/>. Nejenom že obsahuje materiálové listy, ale v neplacené verzi se lze dostat i k výsledkům mechanických zkoušek, které rychle ilustrují oblast použití.

Dále lze doporučit využívání normalizovaných „stavebnicových“ modulů pro výrobu formy. Dodáváním těchto normálií se zabývá mnoho firem. Často nabízejí software, kde si může konstruktér vybrat z více variant řešení. Jeho zvolené řešení pak již obsahuje jak konstrukční desky, tak i vodící a spojovací elementy. K těmto produktům pak může přidávat další příslušenství forem z portfolia daného dodavatele. V tomto případě převažují výrobky firmy HASCO. Obecně však platí, že je vhodné kombinovat více dodavatelů, neboť každý se specializuje na užší sortiment.

Při konstrukci formy je více než vhodné využívat simulačních programů analyzujících technologii vstřikování ještě dříve, než se forma dostane na lis. V mnoha případech tak dojde k odhalení chyb, jejichž následná oprava by stála více prostředků, než když se odhalí ještě před výrobou pomocí softwaru. V tomto případě byl využit program CADMOULD, jehož pomocí byly odstraněny nedostatky při navrhování technologie vstřikování a pomohl při konstrukci formy, kdy byla podle analýzy potvrzena místa vhodná k odvzdušnění a došlo k úpravě dutiny formy podle skutečné průměrné hodnoty smrštění. Těmto programům je třeba rozumět a umět je vhodně vyhodnotit, jinak je se jejich vypovídající hodnota snižuje.

V závěru lze říci, že s rychlým tempem vývoje se konstruktér může vyrovnat jen neustálým vzděláváním. Bez něho by jeho řešení nebyla konkurenceschopné na dravém trhu. Proto je důležité využívat nejnovějších poznatků, které jsou zahrnuty v různých databázích a simulačních programech.

Seznam použitých zdrojů [1]

1. Citace.com. *Citace.com* [online]. [cit. 2014-02-23]. Dostupné z: www.generator.citace.com/
2. ARBURG spol. s r.o. [online]. 2014 [cit. 2014-02-25]. Text v češtině. Dostupné z: <http://www.arburg.com>.
3. BĚHÁLEK, Luboš. TUL – FS, Katedra strojírenské technologie. *TEORIE ZPRACOVÁNÍ NEKOVOVÝCH MATERIÁLŮ: Průvodní a následné jevy při zpracování plastů*. Liberec, 2012, 24 s.
4. BĚHÁLEK, Luboš. TUL – FS, Katedra strojírenské technologie. *Typy vtoků*. Liberec, 2004. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c9/
5. CAMPUSplastic. *CAMPUSplastic* [online]. 2014 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: <http://www.campusplastics.com/campus/en/datasheet/Ultramid%C2%AE+B3WG7+BK00564/BASF/20/f3b6903c/US?pos=3820>
6. ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA. *Kurzy devizového trhu* [online]. 2014 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: http://www.cnb.cz/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/denni_kurz.js
7. Defining a Mold. In: *Defining a Mold* [online]. [cit. 2014-02-24]. Dostupné z: <http://www.outlawsolutionsandconcepts.com/index.php?page=product-development-2>
8. GABRIEL, Jiří. KOMPOZITY BRNO S.R.O. *Kurz vstřikování plastů*. Brno, 2000, 128 s.
9. GABRIEL, Jiří. Software pro analýzu vstřikování plastů. *Software pro analýzu vstřikování plastů* [online]. 2011, 26/10/2011, s. 1 [cit. 2014-02-23]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.sk/sk/software-pro-analyzu-vstrikovani-plastu/c/747>
10. HASCO. *Cooling system*. 2014, 32 s. Dostupné z: http://pdf.directindustry.com/pdf/hasco/cooling-system/15600-449021-_10.html
<http://www.arburg.com>.
11. KANDUS, Bohumil, Ing. *Technologie zpracování plastů (HTZ)*. Přednášky a cvičení. Odbor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno. 2014
12. KENNETH, Wong. Going with the Flow: Dassault Joins the Bid for Mold Simulation with Acquisition. *Going with the Flow: Dassault Joins the Bid for Mold Simulation with Acquisition* [online]. 2013, 5/10/2013, s. 1 [cit. 2014-02-23]. Dostupné z: www.deskeng.com/virtual_desktop/?p=7132
13. LANXESS. *Part and Mold Desing: A Desing Guide* [online]. U.S.A., 2007, 170 s. [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: http://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide%20%20.pdf?docId=77015
14. LENFELD. *PLASTY A JEJICH ZPRACOVATELSKÉ VLASTNOSTI* [online]. Liberec, 2005 [cit. 2014-02-23]. 138 s. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm. Skriptum. Technická univerzita Liberec.
15. MOLLIKOVÁ, Eva. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Polymery*. Brno, 2010, 45 s.
16. PLASTICPORTAL.SK. *Horká tryska* [online]. 2013 [cit. 2014-02-23]. Dostupné z: http://www.plasticportal.sk/image/staticke/Image/2013_foto/november_2013/dfdfg.jpg
17. ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisku z plastu a forem pro zpracování plastu. Brno : SEKURKON s.r.o., [2004]. 220 s. ISBN 80-86604-16-0.

18. SOVA, Miloš a KREBS, Josef. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. vyd. Praha: Dashöfer, 2001. ISBN 80-862-2915, 1 CD-ROM.
19. STRÁNSKÝ, Luboš. *Návrh technologie výroby plastové páčky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů 2012. 71s., 3 přílohy. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohumil Kandus.
20. SYNVENTIVE. *Hot Runner Manifold Configurations* [online]. 2014 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: http://www.synventive.com/hot_runner_manifolds.aspx
21. Technická příručka. *Bolzano* [online]. 2004 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/nastrojovky/>
22. WITTMANN. *HM MC 300*. 2014, 2 s. Dostupné z: http://www.wittmann-group.cz/documents/wwwdokumenty/2078/hm_mk_300_technicka_data_gb.pdf?file_version=1010.100831.082408
23. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. 1. vyd. Praha: BEN, 2009, s. 248. ISBN 978-80-7300-250-3.
24. ŽÁK, Ladislav. VUT - FSI, Ústav strojírenské technologie - Odbor tváření kovů a plastů. *Násobnost forem*. Brno, 2011, 16 s.

Seznam zkratk a symbolů

Označení	Legenda	Jednotka
A	Cena stroje	[Kč]
A_D	Plocha průřezu dílce do dělicí roviny	[mm ²]
A_m	Cena materiálu	[Kč/kg]
A_1	Rozměr ve formě	[mm]
b	Délka	[mm]
B_1	Rozměr výstřiku po smrštění	[mm]
B_2	Rozměr výstřiku po dostatečném smrštění	[mm]
C_p	Minimální plastikační kapacita	[kg/hod]
C_p	Měrná tepelná kapacita	[KJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
C_v	Minimální vstřikovací kapacita	[cm ³]
C_1	Rozměr výlisku po navlhnutí	[mm]
C_2	Rozměr po ohřevu na provozní teplotu	[mm]
d	Průměr temperačních kanálů	[mm]
D	Průměr zásobníku filmového vtoku	[mm]
D_{rk}	průměr rozváděcího kanálu	[mm]
D_s	Optimální průměr šneku	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
E_k	Konstrukční modul pružnosti	[MPa]
E_E	Cena elektrické energie	[Kč/kWh]
F	Síla	[N]
f	Délka dráhy toku taveniny	[mm]
F_P	Přidržovací síla	[N]
$F_{př}$	Přisouvací síla	[N]
F_u	Uzavírací síla	[N]
F_c	Celková síla	[N]
G	Hmotnost jednoho výlisku	[kg]
\dot{G}	Průchod materiálu	[kg/hod]
G_c	Celková hmotnost výlisků a vtokového zbytku	[Kg]
G_z	Hmotnost vtokového zbytku	[kg]
Δh	Rozdíl entalpií	[kJ/kg]
H	Výška filmového vtoku	[mm]
h	Výška	[mm]
J	Kvadratická moment průřezu	[mm ⁴]
K	Faktor využití času	[-]
k	Parametr zahrnující vliv dráhy toku taveniny a tloušťku dílce	[mm]
K_1	Koeficient opotřebení stroje	[-]
K_a	Faktor navýšení objemu taveniny	[g/cm ³]
K_f	Faktor schopnosti tečení taveniny	[bar/mm]
K_p	Faktor zmetkovitosti	[-]
K_z	Faktor využití pracovního času	[-]
L	Výpočtová délka toku taveniny	[mm]
L_1	Šířka filmového vtoku	[mm]
L_{rk}	Délka rozváděcího kanálu k jedné tvarové dutině	[mm]
L_s	Délka dráhy pohybu šneku	[mm]
m	Koeficient rovnice dráhy toku taveniny	[-]

Označení	Legenda	Jednotka
M_d	Hrubá mzda obsluhy stroje	[Kč/hod]
N	Vyráběný počet kusů	[ks]
n	Exponent rovnice dráhy toku taveniny	[-]
N_A	Celkové náklady na danou sérii	[Kč]
N_{cs}	Celkové náklady na stroj a jeho obsluhu během celé výrobní série	[Kč]
N_d	Náklady na mzdu dělníka	[Kč]
N_f	Odhad nákladů na výrobu formy	[Kč]
N_m	Náklady na materiál jednoho výstřiku	[Kč]
N_o	Odpisové náklady stroje	[Kč]
N_{oc}	Celkové odpisové náklady stroje po dobu celé série	[Kč]
N_{pr}	Náklady na provoz stroje za celou sérii	[Kč]
N_s	Náklady na materiál pro celou sérii	[Kč]
n_s	Otáčky šneku	[1/min]
N_t	Náklady na materiál pro celou sérii	[Kč]
n_T	Termínovaná násobnost	[-]
N_V	Celkové náklady na jeden výlisek	[Kč]
p_d	Dotlak	[MPa]
p_f	Minimální plnicí tlak	[MPa]
p_i	Vnitřní tlak	[Pa]
P_s	Příkon stroje	[kW]
p_v	Vstřikovací tlak	[MPa]
p_z	Zbytkový tlak při otevírání formy	[Pa]
Q	Teplo	[W]
Q_k	Ztráty odvodem tepla do okolí	[W]
Q_p	Přivedené teplo	[W]
Q_R	Ztráty tepla vyzařováním	[W]
Q_t	Teplo přivedené nebo odvedené temperačním médiem	[W]
Q_V	Ztráty tepla odvodem do upínacích ploch vstřikovacího stroje	[W]
R_e	Mez kluzu v tahu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_s	Návrat nákladů investovaných do stroje	[rok]
S	Plochy průmětů	[mm ²]
s	Tloušťka stěny dílce	[mm]
s_K	Pohyb šneku	[mm]
s_N	Pohyb nástroje	[mm]
ΔT	Rozdíl teplot	[mm]
t_c	Doba vstřikovacího cyklu	[s]
t_d	Doba dotlaku	[s]
T_E	Teplota odformování	[°C]
T_f	Teplota viskózního toku	[°C]
T_F	Teplota formy	[°C]
T_g	Teplota skelného přechodu	[°C]
t_{ch}	Celková doba chlazení	[s]
T_M	Teplota materiálu	[°C]
T_m	Teplota tání krystalů	[°C]
t_m	Prodleva	[s]
t_{pl}	Doba plastikace	[s]
t_{S1}	Doba uzavírání formy	[s]

Označení	Legenda	Jednotka
t_{S2}	Doba přisouvání vstřikovací jednotky k formě	[s]
t_{S3}	Doba otevírání formy	[s]
t_s	Doba výroby celé série	[hod]
t_v	Doba vstřikování	[s]
t_1	Uzavření formy	[s]
t_2	Přisunutí vstřikovací jednotky	[s]
t_3	Otevření formy a vyhození výstřiku	[s]
t_4	Prodleva	[s]
v	Maximální obvodová rychlost šneku	[m/s]
V	Objem	[cm ³]
V_D	Vstřikovací dávka	[cm ³]
V_{rk}	Objem rozváděcího kanálu do jedné dutiny	[cm ³]
v_s	Vstřikovací rychlost	[cm ³ /s]
X	Střední rozměr	[mm]
y	Velikost průhybu desky	[mm]
α_{eff}	Měrná tepelná vodivost	[mm ² /s]
γ	Smyková rychlost	[s ⁻¹]
η	Dynamická viskozita	[Pa · s]
λ	Tepelná vodivost	[W · m ⁻¹ · K ⁻¹]
μ	Poissonovo číslo	[-]
ρ	Hustota	[g/cm ³]
τ	Smykové napětí	[Pa]
τ_p	Požadovaný termín dodání	[hod]
ϑ_{F1}	Teplota stěny dutiny	[°C]
ϑ_{F2}	Teplota stěny dutiny	[°C]
ϑ_{F3}	Teplota stěny dutiny	[°C]
ϑ_k	Teplota stěny kanálu	[°C]
ϑ_T	Teplota chladiva	[°C]

Seznam obrázků

Obr. 1 Analýzy vstřikování [9], [12].....	10
Obr. 2 Základna časovače	11
Obr. 3 Polymerace [15]	12
Obr. 4 Polykondenzace [14].....	12
Obr. 5 Polymery [14]	14
Obr. 6 Tvary makromolekul [14]	15
Obr. 7 Hookův diagram [15]	15
Obr. 8 Teplota skelného přechodu [18].....	16
Obr. 9 Schéma technologie vstřikování [14].....	17
Obr. 10 Uzavírací jednotka vstřikovacího lisu [2]	18
Obr. 11 Horizontální uspořádání [3]	18
Obr. 12 Fáze vstřikování [14]	19
Obr. 13 Průběh smrštění [19]	21
Obr. 14 Smrštění plněných materiálů [14]	22
Obr. 15 Průběh tlaku ve formě [14]	23
Obr. 16 Vstřikovací forma	24
Obr. 17 Průřezy rozváděcích kanálů [17].....	26
Obr. 18 Násobnost forem [24].....	26
Obr. 19 Horká tryska [16]	27
Obr. 20 Kuželový vtok [4]	28
Obr. 21 Bodový vtok [4]	28
Obr. 22 Deštníkový a talířový vtok [4]	29
Obr. 23 Prstencový vtok [4]	29
Obr. 24 Štěrbínový vtok [4]	29
Obr. 25 Tunelový vtok [4].....	30
Obr. 26 Analýza chlazení a) před korekcí.....	31
Obr. 27 Tepelná bilance formy [17].....	31
Obr. 28 Diesel efekt [14].....	31
Obr. 29 Vyhazovače [7]	32
Obr. 30 Délka toku taveniny	34
Obr. 31 Průběh tlaku v čase [14].....	36
Obr. 32 Rozměry vyh. formovací desky	39
Obr. 33 Základní rozměry vstřik. lisu [58].....	40
Obr. 34 Katalog HASCO	40
Obr. 35 Horká tryska.....	42
Obr. 36 Uložení bloku horkého vtoku.....	42
Obr. 37 Montáž propojek [57].....	43
Obr. 38 Temperační okruhy	44
Obr. 39 Odlehčení vedení vyhazovačů	45
Obr. 40 Vyhození výstřiku	45
Obr. 41 Boční jádra	46
Obr. 42 Pohyb bočních jader.....	46
Obr. 43 Konstrukční části formy.....	47
Obr. 44 Deformace výstřiku.....	48
Obr. 45 Profil vstřikovacího tlaku.....	49
Obr. 46 Tlakové úbytky v průběhu a po vstřikování.....	49
Obr. 47 Nastavení analýzy	50
Obr. 48 Paprskovité tečení taveniny	50
Obr. 49 Profil plnění.....	51

Obr. 50 Kritická místa odvzdušnění.....	51
Obr. 51 Teplotní úbytky	52
Obr. 52 Postupující plnicí vlna.....	52
Obr. 53 Smykové namáhání trysky	53
Obr. 54 Smykové namáhání výstřiku	53

Seznam tabulek

Tab. 1 Teploty polymerů [14]	16
Tab. 2 Provozní teplota formy [14]	30
Tab. 3 Vlastnosti materiálu [5],[11]	33
Tab. 4 Parametry vstřikování [11].....	35
Tab. 5 Volba vstřikovacího lisu	39
Tab. 6 Materiál desek [21]	41
Tab. 7 Materiál vložek [21]	41
Tab. 8 Průměry temperačních kanálků [18]	43
Tab. 9 Ceny dílů, přepočet 2.4.2014_1EUR=27,45 Kč [6].....	54
Tab. 10 Náklady na výrobu formy	54
Tab. 11 Hodnoty pro výpočet [5],[22]	55

Seznam výkresů

DP 2014 – 00.....	sestava
DP 2014 – 01.....	rozpiska
DP 2014 – 02.....	tvarová vložka TS
DP 2014 – 03.....	tvarová vložka VS
DP 2014 – 04.....	výkres výstřiku

Seznam příloh

- 1 Materiálový list Ultramid
- 2 Poptávka horkého vtoku
- 3 Katalog vstřikovacího lisu

Přílohy

1 Materiálový list Ultramid

8

ULTRAMID® INJECTION-MOLDING GRADES WITHOUT FLAME RETARDANTS
Reinforced Ultramid® A grades

Ultramid® injection-molding grades without flame retardants

Reinforced Ultramid® A grades

Typical values at 23°C ¹⁾	Unit	Test specification	Condition
Features			
Symbol	–	ISO 1043	–
Density	g/m ³	ISO 1183	–
Viscosity number (solution 0.005 g sulfuric acid/ml)	ml/g	ISO 307	–
Water absorption, saturation in water at 23°C	%	ISO 62	–
Moist. absorption, saturation in standard cond. atmo. 23°C/50% r. h.	%	ISO 62	–
Processing			
Melting point, DSC	°C	DIN 53 765	–
Melt volume rate MVR 275/5	cm ³ /10 min	ISO 1133	–
Melt temperature range, injection molding/extrusion	°C	–	–
Mold temperature range, injection molding	°C	–	–
Molding shrinkage, restricted ⁴⁾	%	–	–
Flammability			
Test according to UL-Standard at d = 1.6 mm thickness	class	UL 94	–
Motor Vehicle Safety Standard Test: thickness ≥ 1 mm	–	FMVSS 302 ⁵⁾	–
Mechanical Properties			
Tensile modulus of elasticity	MPa	ISO 527-1/-2	dry/cond.
Stress at yield (v = 50 mm/min), at break (v = 5 mm/min)*	MPa	ISO 527-1/-2	dry/cond.
Elongation at yield (v = 50 mm/min), at break (v = 5 mm/min)*	%	ISO 527-1/-2	dry/cond.
Tensile creep modulus, 1,000 h, elongation ≤ 0.5 %, +23 °C	MPa	ISO 899-1	cond.
Flexural modulus	MPa	ISO 178	dry/cond.
Flexural stress at max. force	MPa	ISO 178	dry/cond.
Charpy impact strength ³⁾ +23 °C	kJ/m ²	ISO 179/1eU	dry/cond.
Charpy impact strength -30 °C	kJ/m ²	ISO 179/1eU	dry
Charpy notched impact strength ³⁾ +23 °C	kJ/m ²	ISO 179/1eU	dry/cond.
Charpy notched impact strength -30 °C	kJ/m ²	ISO 179/1eA	dry
Izod notched impact strength A ³⁾ +23 °C	kJ/m ²	ISO 180/A	dry/cond.
Izod notched impact strength A -30 °C	kJ/m ²	ISO 180/A	dry
Thermal properties			
Heat distortion temperature under 1.8 MPa load (HDT A)	°C	ISO 75-1/-2	–
Heat distortion temperature under 0.45 MPa load (HDT B)	°C	ISO 75-1/-2	–
Max. service temperature, up to a few hours ²⁾	°C	–	–
Temp. index for 50 % loss of tensile strength after 20,000 h/5,000 h	°C	IEC 216-1	–
Coefficient of linear expansion, longit./transv. (23-80) °C	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359-1/-2	–
Thermal conductivity	W/(m·K)	DIN 52 612-1	–
Specific heat capacity	J/(kg·K)	–	–
Electrical properties			
Dielectric constant at 1 MHz	–	IEC 60250	dry/cond.
Dissipation factor at 1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	dry/cond.
Volume resistivity	Ω·m	IEC 60093	dry/cond.
Surface resistivity	Ω	IEC 60093	cond.
Comparative tracking index CTI, test solution A	–	IEC 60112	–
Core Products			

Footnotes

¹⁾ For undyed product, unless otherwise indicated in the product designation.

²⁾ Empirical values for parts repeatedly exposed to this temperature for several hours at a time over a period of years, provided that shaping and processing were in accord with the material.

³⁾ NB = not broken

⁴⁾ Test box with central gating, base dimensions (107·47·1.5) mm,

processing conditions: T_{MFR60} = 260 °C, T_{MFR90} = 290 °C,

T_w = 60 °C for unreinforced and T_w = 80 °C for reinforced grades, *test box: T_{MURD} = 290 °C, T_{WURD} = 80 °C

⁵⁾ + = passed

A3HG6 HR	A3EG7	A3HG7	A3WG7	A3WG7 HRX	A3WG8
PA66-GF30	PA66-GF35	PA66-GF35	PA66-GF35	PA66-GF35	PA66-GF40
1.37	1.41	1.41	1.41	1.42	1.46
145	145	145	145	155	140
5.2-5.8	4.7-5.3	4.7-5.3	4.7-5.3	5.0-5.7	4.4-5.0
1.5-1.9	1.4-1.8	1.4-1.8	1.4-1.8	1.4-1.8	1.3-1.7
260	260	260	260	260	260
25	35	40	35	10	20
280-300	280-300	280-300	280-300	280-310	280-300
80-90	80-90	80-90	80-90	80-90	80-90
0.55	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
	HB	HB	HB		
	+	+	+		
10,000/6,800	11,500/8,500	11,200/8,500	11,500/8,500	11,000/7,300	13,000/8,500
190°/120°	210°/150°	200°/150°	210°/150°	205/130	220/145
3.2°/5.4°	3°/5°	3°/5°	3°/5°	3.4/5.7	3/5
5,300	6,650	6,600	6,600	-/4,100	-/4,900
8,700/5,800	10,000/8,000	10,000/8,500	10,000/8,000	10,500/7,000	12,000/8,400
275/200	300/240	300/240	300/240	310/200	330/230
80/90	95/105	95/100	95/105	100/105	100/110
65	75	75	75	85/95	85/95
11/16	14/22	13/22	14/22	12/17	13/17
9	12	12	12	9.5/10	10/11
13/20	14/18	14/18	14/18	15/-*	14/-*
9					
250	250	250	250	250	250
250	250	250	250	260	260
240	240	240	240	240	240
	135/165	140/170	145/175		
0.2-0.3/0.6-0.7	0.15-0.2/0.6-0.7	0.15-0.2/0.6-0.7	0.15-0.2/0.6-0.7	0.2-0.25/0.77-1.23	0.19-0.23/0.74-1.21
0.34	0.35	0.35	0.35	0.37	0.41
1,500	1,500	1,500	1,500	1,200	1,200
3.5/5.6	3.5/5.7	3.5/5.7	3.5/5.7	3.9/4.7	4.0/4.7
/3,000	200/1,500	200/1,500	200/3,000	180/910	170/830
10 ¹³ /10 ¹⁰	10 ¹³ /10 ¹⁰	10 ¹³ /10 ¹⁰	10 ¹³ /10 ¹⁰	2·10 ¹⁴ /2·10 ¹⁰	3·10 ¹⁴ /5·10 ¹⁰
10 ¹⁰	10 ¹⁰	10 ¹⁰	10 ¹⁰	6·10 ¹²	2·10 ¹³
450	550	550	450	350	425
	FC, UN	UN	UN		
BK23591		BK00564	BK20560	BK23591	BK20560
Glass-fiber reinforced injection-molding grade with enhanced hydrolysis resistance, e.g., for applications in vehicle cooling systems.	Glass-fiber reinforced injection-molding grade for machine elements and housings of high stiffness and dimensional stability such as lamp socket housings, heat pump housings, instantaneous water heaters as	Glass-fiber reinforced and heat aging resistant injection-molding grade, e.g. for parts and components with high stiffness and dimensional stability as well as electrically insulating parts.	Glass-fiber reinforced and heat aging resistant injection-molding grade for technical articles such as gearwheels, solenoid valve housings, cable contacts and components for automotive gear shifting systems	Glass-fiber reinforced injection-molding grade with enhanced resistance to hydrolysis and heat ageing, e.g. for applications in the automotive cooling circuit.	Glass-fiber reinforced and heat-aging resistant injection-molding grade for industrial items such as gear wheels, solenoid valve housings, cable attachments, automotive fuel distributors and components for automotive gearshift

2 Poptávka horkého vtoku



Synventive Molding Solutions GmbH
Heimrodstraße 10
64625 Bensheim

+49 (0) 6251 / 9332 - 0
+49 (0) 6251 / 9332 - 90
infohrde@synventive.com
www.synventive.com

Customer Address

FOREZ s.r.o.
Ostrov 2
Ostrov
561 22
CZECH REPUBLIC

Quotation 21814.A

Quotation Name: Zakladna casovace OEZ
Quotation Date: 14.03.2014
Project Nbr:
Inside Sales Engineer: Dalibor Sumka
E-Mail: dsumka@synventive.com
Phone: 00420554711550
Your Ref:
Your Consignment:
Your tool n.:

Delivery Address

Ostrov 2
Ostrov, CZ
561 22
CZECH REPUBLIC

Invoice Address

Ostrov 2
Ostrov, CZ
561 22
CZECH REPUBLIC

Dear Customer,
In response to your recent request, we are pleased to present the following quotation for your review.

SYNVENTIVE SYSTEM INCLUDES

Line #	Part #	Quantity	Unit Price	Extended Price
1	Hot Runner	1,00	2.326,00 €	2.326,00 €

2-drop open screwed together system

1x manifold shape I, X=75, J=9
2x nozzle 06E060-Y10T, J=6, J1=8, H=1,6
1x inlet bushing IB024045, heated, J=10, R=35

Total Net Price, plus VAT 2.326,00 €

Delivery Time: 3 Weeks after 3D Approval
Delivery Terms: CPT including Packaging
Payment Terms: 14 days 2% disc. 30 days net
Validity of Quotation: 12.06.2014

The system price includes the creation of a customer drawing with all relevant installation dimensions as to your specifications, including one adjustment by the customer. We reserve the right to charge any further customer-based modification.

We trust our quotation meets with your approval. Should you have further questions or need additional information, please do not hesitate to contact me.

Best regards

Dalibor Sumka

Application Information

Part Weight:	60 g	Cold Runner:	No
Wt. Per Nozzle:	60 g	Direct On Part:	Angled Without Sprue
Num. Cavities:	2		

Material Information

Material Family Name:	PA	Material Supplier Code:	PA66-GF35, Ultramid A3wg7
Fillers:	Glass	Processing Temp:	
Manufacturer:		Mold Temp:	
Long Glass Fiber:	No		

Nozzle Sets

Set Number:	1	Extension (F):	None mm
Nozzle Style (qty):	09E (2)	Insert outer ø:	None mm
Length:	60 mm	Flowbore ø:	9 mm
Insert:	W10T		

Actuator:

Manifold Sets

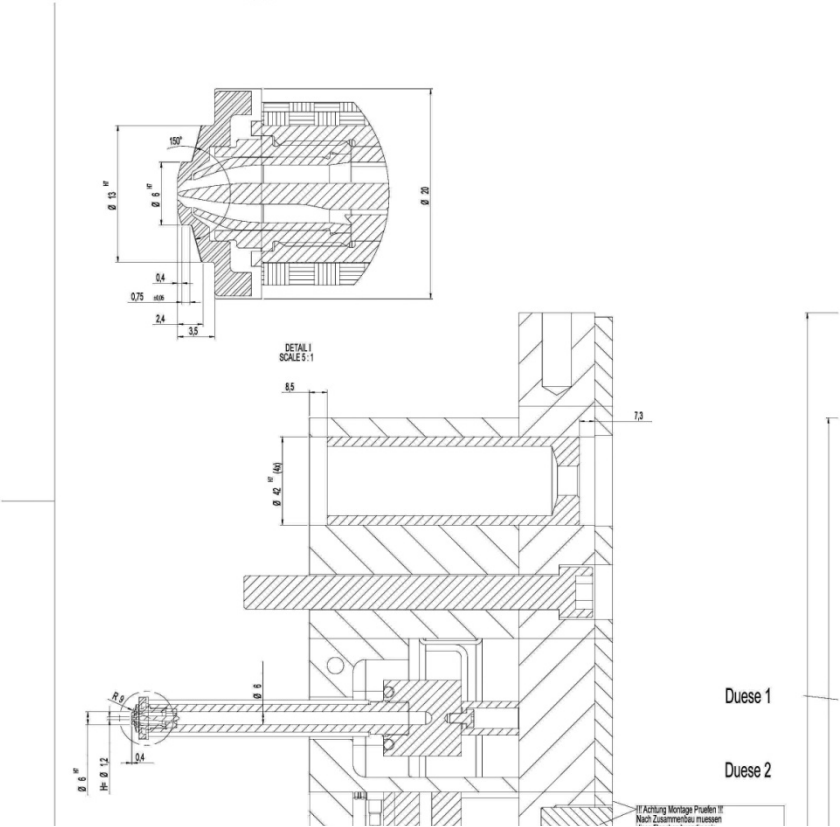
Set:	1	Length:	150 mm
Type:	Standard	Width:	50 mm
Shape:	I	Height:	88 mm
Num. Nozzles:	2		

Inlet

Type:	BC 32	Diameter:	
Radius:	R 35	Flowbore:	
		Length:	45

Pre Wire / Pre Plumb

Options



3 Katalog vstřikovacího lisu

HM MC 300

Clamping Unit		HM MC 300								
Clamping force	kN	3000								
Distance between tie bars	mm x mm	710 x 710								
Mould height (min.)	mm	375								
Opening stroke/opening force	mm/kN	800/141								
Maximum daylight	mm	1175								
Ejector stroke/ejector force	mm/kN	200/59								
Dry cycle time ¹	s-mm	2,8 - 441								
Injection Unit		1000			1330			2250		
Screw diameter	mm	45	50	55	50	55	65	55	65	75
Screw stroke	mm	250			275			325		
Screw L/D ratio	mm	22			22			22		
Theoretical shot volume	cm ³	398	491	594	540	653	913	772	1078	1436
Specific injection pressure	bar	2490	2016	1666	2470	2041	1461	2500	2070	1555
Max. screw speed	min ⁻¹	260			278			283		
Max. plasticizing rate (PS) ²	g/s	32,4	39,2	48,5	41,9	51,9	62	53	79	120
Max. screw torque	Nm	1540			1940			2373		
Nozzle stroke/contact force	mm/kN	400/100			400/100			500/129		
Injection rate into air ³	cm ³ /s	183	226	273	248	300	419	242	338	450
Injection rate into air with twin-pump (option)	cm ³ /s	478	590	714	567	686	958	726	1014	1351
Drive										
Drive power	kW	55			55			55		
Oil tank volume	l	650			650			650		
Rotary Unit		1000								
Diameter	mm	1000								
Height	mm	160								
Weight	kg	1000								
Rotary time 180°	s	1,6								
Number of cooling circuits		2 x G 3/8"								
Min. mold diameter/ Max. mold diameter	mm	630/1047								
Max. mold weight ⁴	kg	3200								
Max. mold weight on rotary unit	kg	1500								

¹ according to EUROMAP 6 ² according to Wittmann Battenfeld norm ³ increased injection rates are possible and depending on the chosen combination ⁴ max. 2/3 on clamping platen

Combinations	Weight	Dimensions in mm										
	kg	V	S	L	a ⁵	b	c	d	e	f	g	h
HM 300/1000H/60-130V-S-L	13700	3700	2800	3100	5600	350	5250	1560	1330	2760	1713	900
HM 300/1000H/210V-S-L	13800	4000	2900	3600								
HM 300/1000H/350V-S-L	13800	4100	2900	3600								
HM 300/1000H/525V-S-L	13900	4400	3000	4000								
HM 300/1000H/750V-S-L	13900	4600	3100	4000								
HM 300/1000H/1000S-L	14600	-	3200	4200								
HM 300/1330H/60-130V-S-L	13700	3700	2800	3100	5600	350	5250					
HM 300/1330H/210V-S-L	13800	4000	2900	3600								
HM 300/1330H/350V-S-L	13800	4100	2900	3600								
HM 300/1330H/525V-S-L	13900	4400	3000	4000								
HM 300/2250H/60-130V-S-L	14700	3700	2800	3100								
HM 300/2250H/210V-S-L	14800	4000	2900	3600	6895	710	6185					
HM 300/2250H/350V-S-L	14800	4100	2900	3600								

⁵ max. length with middle screw diameter in back position

Technical drawings of the Z 05/26/02/E (4-w) pump assembly, showing front, side, and top views with detailed dimensions and component labels.

Front View (Left): Shows the circular pump head with a 45° angle. Key dimensions include: 505, 775, 26, 112, 1004, 120, 1640, 203.2, 420, 480, 390, 210, 280, 350, 125, 88.9, 50.8, 140, 26, 1048, 203.2, 420, 480, 1640. Component labels include M20 (68x), G3/8 (8x), and Ø2000.

Side View (Middle): Shows the pump assembly from the side. Key dimensions include: 190, 1175, 240, 160, 800, 375, 215, 85, 225, 75, 200, 330, 1560, 1210, 350, 500, 373, 200, 10, 415, 30, 160H7, Ø100, Ø160H7, Ø62 H7. Component labels include M20, Z 05/26/02/E (4-w), and Ø32 (12x).

Top View (Right): Shows the pump assembly from above. Key dimensions include: 1640, 440, 1030, 170, 1172, 1100, 2028, 2700, 105, 710, 295, 585, 23, 1513, 55, 59-80, 555, 980, 700, 35, 140, 730, 750, 295, 170. Component labels include M20 (8x).

Technical drawings of the Battenfeld 1000000 machine, showing side, front, and top views with dimensions.

Side View (Top Left): Shows the machine's profile with dimensions d (base width), c (main body width), a (total base length), b (total height), and s (height of the upper section). The Battenfeld logo is visible on the side.

Front View (Top Right): Shows the machine's front profile with dimensions L (total length), g (width of the main body), and V (height of the upper section).

Top View (Bottom): Shows the machine's top profile with dimensions a (total length), b (width of the main body), and c (width of the upper section).